



Universidad
Carlos III de Madrid

Departamento de ingeniería mecánica

PROYECTO FIN DE CARRERA

Diseño y construcción de un prototipo de fresadora-CNC

Autor: César Hurtado Juárez

Tutor: Cristina Castejón Sisamón

Leganés, Julio de 2015

Título: Diseño y construcción de un prototipo de fresadora-CNC

Autor: César Hurtado Juárez

Director: Cristina Castejón Sisamón

EL TRIBUNAL

Presidente: _____

Vocal: _____

Secretario: _____

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 09 de Julio de 2015 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

VOCAL

SECRETARIO

PRESIDENTE

Resumen

Las máquinas CNC nacieron para reducir el tiempo de fabricación de fusiles, han ido evolucionando y en la actualidad podemos encontrar fresadoras con cinco ejes que nos ofrecen unas tolerancias muy ajustadas en la fabricación de piezas.

Típicamente estas máquinas tienen precios muy elevados y sólo se utilizan en aplicaciones industriales que puedan amortizar la inversión en la máquina y su mantenimiento.

Gracias a los avances de la electrónica en los últimos años y a la aparición de impresoras 3D en este proyecto se plantea el diseño y construcción de una fresadora CNC de bajo coste y tamaño que se pueda utilizar en un ambiente doméstico.

Para llevar a cabo el proyecto se realizó el diseño utilizando PTC creo parametric 2.0, en primer lugar se diseñó cada pieza individualmente y posteriormente se realizó un montaje virtual de todas las piezas para observar posibles interferencias entre ellas y poder rediseñar en caso de ser necesario.

Con el modelo de las piezas realizado en creo parametric 2.0 fue relativamente sencillo la fabricación de las piezas con la impresora 3D ya que se podían exportar las piezas directamente pasándolas por el software laminador.

Determinadas piezas, ya fuera por su tamaño o por los esfuerzos que tendrían que soportar una vez montadas en la máquina no se realizaron con la impresora 3D y se realizaron en metacrilato o aluminio utilizando una fresadora CNC industrial.

El diseño electrónico se simplifica enormemente utilizando unos controladores comerciales para los motores stepper que son los encargados de realizar el movimiento de la máquina, éste se puede realizar utilizando desde un motor a los tres dependiendo de la trayectoria que se desea conseguir.

El número de cables empleados para realizar todas las conexiones necesarias se ha simplificado utilizando un circuito impreso en una placa PCB y soldando a ésta los componentes electrónicos.

Una vez se tuvo el diseño de la parte electrónica del montaje de la parte mecánica, se procedió a integrar el circuito electrónico en el montaje mecánico.

A continuación se probó el comportamiento de cada eje por separado, en primer lugar se trabajó con el eje y, después con el x y por último con el z, que es el vertical. Una vez realizada la calibración de los tres ejes, se realizaron pruebas en diferentes materiales.

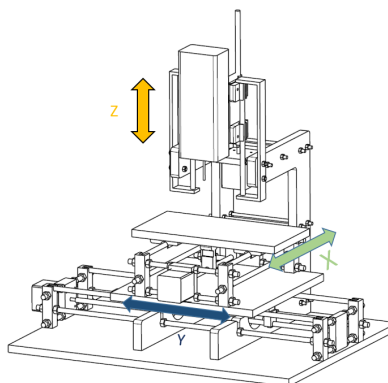


Figura 1 modelo 3D completo

Índice general

Resumen	4
Índice general.....	5
Índice de tablas	6
Índice de figuras.....	7
Objetivos y motivación	9
1. Introducción	11
1.1 La electrónica a partir de los transistores	11
1.2 El efecto sobre la informática	12
1.3 Nuevos Materiales y dispositivos electrónicos.....	13
1.4 Arduino.....	13
1.5 Fresadoras.....	14
2. Diseño mecánico	17
2.1 Componentes de la maquina	18
2.2 Ejes horizontales X e Y	19
2.3 Eje vertical Z.....	22
2.4 Cálculo de las fuerzas ejercidas durante el fresado del material.	27
2.5 Análisis numérico.....	28
2.6 Fabricación de los componentes realizados con la impresora 3d:	29
2.7 Montaje	32
3. Actuadores (diseño electrónico).....	43
4. Resultados	51
5. Conclusiones y futuros desarrollos	53
Bibliografía	54

Índice de tablas

Tabla 1 Lista de componentes	18
Tabla 2 Lista componentes ejes X e Y	19
Tabla 3 Lista componentes eje Z	22
Tabla 4 Lista componentes electrónicos	43
Tabla 5 Características motor	43
Tabla 6 Presupuesto	52

Índice de figuras

Figura 1 modelo 3D completo	4
Figura 2 Diagrama de Gantt	10
Figura 3 Evolución transistores	11
Figura 4 Evolución ordenadores	13
Figura 5. Fresadora universal antigua. Fuente: University of Washington Surplus	15
Figura 6 Máquina completa	17
Figura 7 Ejes X e Y	19
Figura 8 Apoyo_varilla	20
Figura 9 Soporte_motor.....	20
Figura 10 Soporte rodamiento	21
Figura 11 Transmisión movimiento	21
Figura 12 Soporte.....	21
Figura 13 Eje Z	22
Figura 14 Pórtico.....	23
Figura 15 Sop_mot_z	24
Figura 16 Soporte fresadora	24
Figura 17 Soporte_U_Z.....	25
Figura 18 Soporte rodamiento	25
Figura 19 Transmisión_z	26
Figura 20 Elementos finitos con $f=413N$	28
Figura 21 Elementos finitos con $f=170N$	28
Figura 22 Parámetros de impresión 1.....	29
Figura 23 Parámetros de impresión 2.....	29
Figura 24 Impresión soportes rodamiento 1	30
Figura 25 Impresión soportes rodamiento 2	30
Figura 26 Impresión soportes rodamiento 3	30
Figura 27 Impresión soportes rodamiento 4	30
Figura 28 Impresión soporte 1	31
Figura 29 Impresión soporte 2	31
Figura 30 Impresión soporte 3	31
Figura 31 Fresadora industrial	31
Figura 32 Disposición del soporte del motor.....	32
Figura 33 Disposición del poyo para la varilla	32
Figura 34 Distancia entre soportes perpendicular al eje	32
Figura 35 Distancia entres soportes paralela al eje x	33
Figura 36 Distancia entre soportes paralela al eje y.....	33
Figura 37 Distancia entre soportes de rodamientos	34
Figura 38 Conjunto de transmisión de movimiento en los planos x e y	34
Figura 39 Placa con soportes y transmisión	35
Figura 40 Placa con varillas.....	35
Figura 41 Estructura eje	36
Figura 42 Eje completo	36
Figura 43 Soporte para motor	37
Figura 44 Soporte y motor.....	37

Figura 45 Distancia entre pórticos	38
Figura 46 Soporte fresadora	38
Figura 47 Pórticos y guías	39
Figura 48 Transmisión y soporte fresadora	39
Figura 49 Eje vertical completo.....	40
Figura 50 Ejes horizontal y vertical completos	41
Figura 51 Conjunto completo	42
Figura 52 Esquema de conexiones [15]	44
Figura 53 Montaje en placa de prototipos	45
Figura 54 Circuito	46
Figura 55 Placa foto sensibilizada y circuito impreso	46
Figura 56 Insolación.....	47
Figura 57 Revelado	47
Figura 58 Quemado de placa	48
Figura 59 Perforado	48
Figura 60 Circuito final	49
Figura 61 Interruptor fin de carrera.....	49
Figura 62 Circuito con ventilación	50
Figura 63 Fuente de alimentación.....	50
Figura 64 Aspecto final de la fresadora-cnc	51
Figura 65 Vista lateral fresadora-cnc	52

Objetivos y motivación

Uno de los motivos por el que decidí hacer este proyecto es por el hecho de que brinda la posibilidad de poder realizar en nuestra propia casa piezas, bien sea porque se requieren o simplemente por voluntad propia.

Dichas piezas deberán ser realizadas previamente en un modelo 3D, por lo que es necesario el conocimiento de programas de modelización.

Por lo tanto, este proyecto me suponía un reto personal muy grande, debido a la cantidad de conocimientos que requiere y a la dificultad que éstos entrañan, así como la necesidad de realizar tareas manuales como corte, soldadura, plegado, atornillado o fresado, lo que significó una motivación extra, para sacar el proyecto adelante.

Para contribuir a que la comunidad “open-source”, sin la cual no habría sido posible realizar éste proyecto, siga creciendo se pondrá a disposición del lector todos los modelos de las piezas para que pueda, si lo desea, replicar la máquina.

Para llevar a cabo los objetivos del proyecto se realizó un diagrama de Gantt que puede observarse en la figura 2

En primer lugar, se desea diseñar una fresadora de tres ejes, utilizando PTC CREO parametric 2.0, esta ha sido la parte más duradera del proyecto, ya que se partía desde cero.

Una vez realizado el diseño mecánico, con una impresora 3D se realizan todas las piezas posibles, y se buscan alternativas de fabricación para aquellas que no pueden ser impresas.

El tercer objetivo es fabricar en aluminio, metacrilato o madera, aquellas piezas que no pueden ser realizadas con la impresora 3D, ya sea por motivos de dimensiones o de resistencia de la pieza.

Posteriormente se realiza el montaje de la parte mecánica de la máquina.

Llegados a este punto se realiza el diseño electrónico del prototipo.

Por último montar el conjunto, así como realizar las correspondientes calibraciones y ajustes.

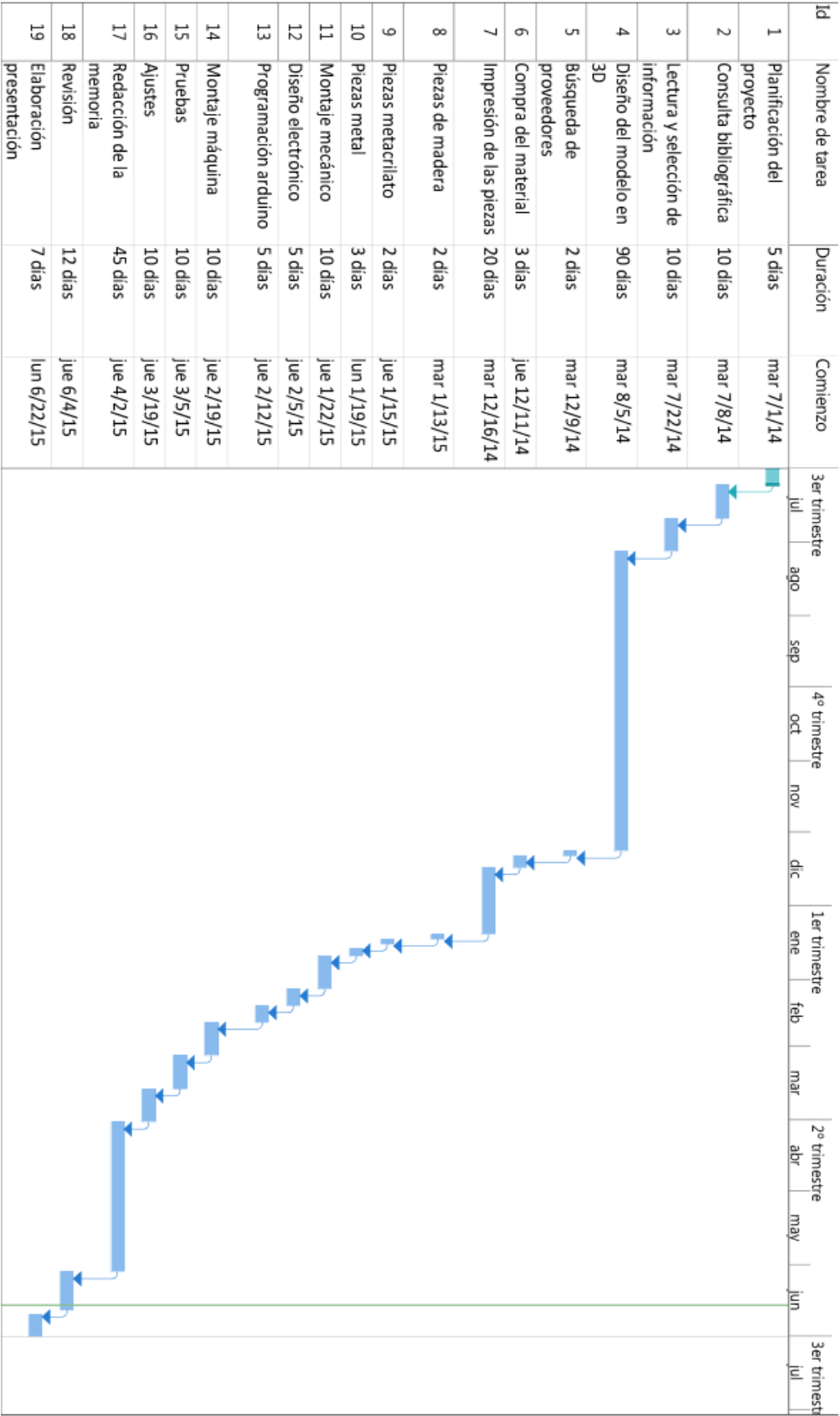


Figura 2 Diagrama de Gantt

1. Introducción

El proceso de industrialización ha evolucionado de manera continua, presentando un gran avance y desarrollo a partir de mediados del siglo XX, gracias fundamentalmente al abaratamiento de los microprocesadores y de la electrónica en general junto al descubrimiento de nuevos materiales y sistemas de fabricación, posibilitando el control automático de procesos.

1.1 La electrónica a partir de los transistores

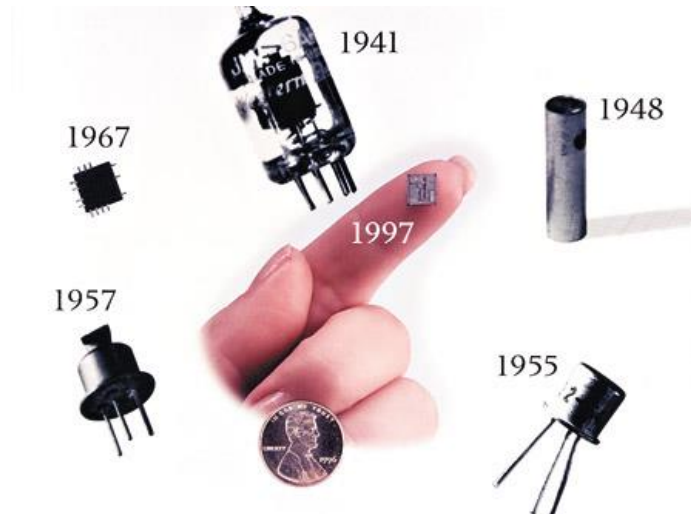


Figura 3 Evolución transistores

La electrónica como la conocemos actualmente empezó con el descubrimiento del efecto transistor. Los transistores abrieron el camino de la electrónica y desde ahí, se considera una entidad independiente de la ingeniería eléctrica. Y lo que es más importante, abrió el camino para el desarrollo del mundo de los ordenadores. Los ordenadores de varios tipos comenzaron golpeando el mercado y los trabajos de investigación recibieron un gran impulso.

Sin embargo pronto se fueron encontrando ciertos problemas, como el montaje de los componentes electrónicos en una sola placa madre. Este problema se agrava cuando los contactos metálicos se cruzan entre sí, y llenan la placa madre. Jack Billy, de Texas Instruments, encontró una buena solución. Sugirió sacar fuera todos los cables y tratar de conectar los resistores, capacitores y transistores en la misma pieza, internamente. Sorprendentemente, sus ideas funcionaron, y dieron lugar a las industrias de circuitos integrados.

Al mismo tiempo, Shockley abandonó los laboratorios Bell y creó su propia compañía en California, cuyo nombre fue Shockley Semiconductor [1]. Algunos jóvenes investigadores muy brillantes se unieron a esta compañía. Algunos de ellos, eran, Gordon Moore, Robert Noyce y Jean Hoerni. Robert Noyce también hizo muchas contribuciones a la tecnología de circuitos integrados al unirse a la compañía Fairchild, creando la compañía Fairchild Semiconductor. Por los esfuerzos de Noyce y Kilby, las industrias de circuitos integrados se hicieron muy populares y esperaron impacientes el siguiente sucesor, el microprocesador.

Además, otra historia estaba sucediendo en la URSS al mismo tiempo. El primer satélite artificial Sputnik fue enviado al espacio. Había una gran demanda para que los componentes electrónicos se mejorasen para el control y rendimiento del satélite y otros dispositivos electrónicos como grandes motores y generadores. Un nuevo tipo de transistor fue inventado al comienzo de los sesenta, que se denominó Mosfet. Este transistor es más lento que los de unión pero es más pequeño, más barato y consume menos energía [2].

En 1965, Gordon Moore publicó un importante documento llamado originalmente “Cramming more Components onto Integrated Circuits”. En este documento describió que el número de transistores usados en un único chip de silicio crecerían exponencialmente [3]. En 1968, RobNoyce y Moore abandonaron Fairchild para crear Intel, ambos eran ya muy populares en el campo de la microelectrónica.

En 1971 su compañía inventó el primer microprocesador, más conocido como 4004, poseyendo 2300 transistores en una placa de silicio.

El éxito vino de la mano del ingeniero Ted Hoff. Mientras trabajaba en un proyecto en Japón, encontró algunos problemas con los circuitos integrados y planeó tener incluso circuitos integrados más grandes que pudiesen abarcar el ordenador entero en un solo chip. Este microprocesador guió el camino de sus sucesores como, 8080, 8085, 80486, las series Pentium y procesadores más modernos como los Xeon [4].

1.2 El efecto sobre la informática

Una de las creaciones más admiradas e importante del siglo veinte fue el ordenador. Este es el hecho de que el siglo veinte también sea conocido como el siglo de los ordenadores. La necesidad de los ordenadores tuvo su punto más álgido durante la Segunda Guerra Mundial. En Gran Bretaña, el proyecto de descifrar el código alemán, era llevado a cabo por Colossus, uno de los primeros ordenadores. Al mismo tiempo, en la universidad de Harvard se estaban realizando estudios de programación con el ordenador construido gracias a la ayuda de IBM con un propósito general. El principal objetivo era descifrar los códigos de seguridad de los enemigos. Manteniendo esto en mente, el ENIAC fue inventado en la universidad de Pensilvania. Era un ordenador gigante de treinta toneladas, bastante grande y con multitud de diodos y triodos de vacío.

El descubrimiento del efecto transistor dio lugar a nuevas ideas en la creación de los ordenadores. Estos son popularmente conocidos como la segunda generación de ordenadores.

Los descubrimientos de Jack Kilby y RobNoyce dieron lugar a la tercera generación de ordenadores, que usaban circuitos integrados y compañías como IBM empezaron a construir ordenadores centrales que tenían mayor almacenamiento y trabajaban a velocidades superiores [5].

Después de la invención del primer microprocesador 4004 en 1971 por Intel, todo el mundo de las industrias de microelectrónica pensó que los microprocesadores podían ayudar al crecimiento de los ordenadores. Se empezaron nuevos proyectos inventando nuevos microprocesadores y nació la cuarta generación de ordenadores.

El primer ordenador personal fue el Altair 8800, que salió en 1975. Este mismo año el ordenador de Apple se puso en marcha y la primera máquina de Apple llegó al mercado en 1976 [6].

Muchas compañías no estaban preparadas para proporcionar ordenadores a nivel de los hogares. Por lo que los principales competidores fueron IBM y Apple. En paralelo con el desarrollo del hardware la industria del software estaba también en auge.

Había muchos sistemas operativos y lenguajes de programación al comienzo de los setenta. Los más populares eran Fortran, Cobol y Pascal. Sin embargo el lenguaje C, desarrollado por Dennis Ritchie resultó ser muy útil en la programación de los sistemas. Incluso hasta hoy, este lenguaje es el dominante.

A comienzos de los ochenta la tecnología más popular de la programación orientada a objetos nació de la mano de C++. Por supuesto algunas de las características orientadas a objetos estaban presentes en otros idiomas como Ada, Smalltalk y Fortran [7].

A finales de los noventa las nuevas tecnologías, como Java, ayudaron mucho en el desarrollo de las web. A continuación, el escenario fue robado por las empresas de software como Microsoft y Oracle que hicieron la informática muy popular.

Al mismo tiempo, hubo una gran demanda de las tareas de tiempo limitado, que eran casi imposibles en los ordenadores generales. Por lo que los ordenadores más rápidos, o superordenadores estaban en la mente de muchos científicos. De todos ellos, el más destacado fue Seymour Cray, que empezó la industria de los superordenadores. A diferencia de los ordenadores generales, los superordenadores usaban un gran número de procesadores paralelos y lógicas de alta velocidad como la ECL [8].



Figura 4 Evolución ordenadores

1.3 Nuevos Materiales y dispositivos electrónicos

Debido a que la electrónica ha adquirido una gran importancia para las economías nacionales, los gobiernos e industrias del mundo han establecido el Plan Tecnológico Internacional para semiconductores, en el que se pretende anticipar futuros avances en este tipo de materiales y sus aplicaciones.

Numerosos laboratorios están trabajando en investigaciones sobre MOSFET de semiconductores compuestos con bases de los grupos III-V del sistema periódico, en transistores de efecto de campo con nanotubos de carbono, en transistores de efecto de campo con nanohilos de silicio y en otros nanodispositivos con geometrías novedosas.

En el campo de la electrónica de potencia, algunos semiconductores compuestos tienen ya una gran potencialidad. Es el caso del carburo de silicio, que puede trabajar a altas temperaturas y alto campo eléctrico, siendo sus electrones de más velocidad que los del silicio [9].

1.4 Arduino

Arduino es un microcontrolador de una placa diseñada para hacer el proceso de utilización de la electrónica en proyectos multidisciplinarios más accesibles.

El hardware consiste en una placa de hardware de código abierto simple, El software consiste en un compilador de lenguaje de programación estándar y un gestor de arranque que se ejecuta en el microcontrolador.

En el año 2002, Massimo Banzi, arquitecto de software de profesión, comenzó a trabajar en el Instituto Interactivo de Diseño de Ivrea en Italia, con el fin de promover nuevas vías para realizar diseño interactivo. A pesar de que tenía buenas ideas, el tiempo limitado de las clases y un presupuesto muy pobre hicieron que no pudiese llevarlas a cabo. Como la mayoría de sus compañeros, Banzi tuvo que confiar en el sello Basic, un microcontrolador desarrollado por Parallax. Los ingenieros han hecho uso de este microcontrolador durante una década. El sello era codificado usando el lenguaje de programación de Basic e interpretado como una pequeña placa de circuito, equipada con elementos indispensables de potencia, suministro, memoria, un microcontrolador, y puerto de entrada y salida a los que se podía unir el hardware. Sin embargo el sello Basic tenía dos problemas según Banzi. El primero de ellos es que no tenía suficiente poder informático para alguno de los proyectos que sus estudiantes habían conceptualizado y en segundo lugar, era bastante caro. De hecho, una placa con estas partes básicas costaba unos 100 dólares [10].

Además, Banzi requería algo compatible con los ordenadores Macintosh, ya que eran muy usados por los diseñadores del IDII.

La primera placa de Arduino se creó en el año 2005, en el instituto interactivo de diseño de Ivrea, Italia. El estudiante colombiano Hernando Barragán fue el autor de la tesis “Arduino, la revolución del hardware abierto”.

Un equipo formado por cinco miembros trabajó en esta tesis, y cuando la nueva plataforma se completó, trabajaron para hacerla más ligera, menos cara y asequible para toda la comunidad.

Mientras tanto, un lenguaje de programación de diseño amigable llamado "Procesamiento" había sido desarrollado por el colega de Banzi del MIT. Este lenguaje ganaba popularidad muy rápidamente ya que permitía crear datos muy visuales y complejos incluso en entorno amateur. Era extremadamente fácil de usar, por lo que a Banzi verdaderamente le gustó este concepto, y se preguntó si él y su equipo podrían crear un software similar para codificar un microcontrolador en lugar de gráficos en una pantalla.

Uno de los estudiantes de Banzi, Hernando Barragán, dio el primer paso creando herramientas similares a Procesamiento. Desarrolló una nueva plataforma conocida como Wiring. Incluía tanto un IDE fácil de usar como una placa de circuito lista para usar. Resultó ser un proyecto prometedor cuyo éxito continúa hasta la fecha, sin embargo, Banzitenía sueños más grandes. Quería hacer una plataforma que era incluso más barata, más simple y más fácil de usar.

Banzi logró crear el primer prototipo de placa en el año 2005. Era un diseño simple que inicialmente no fue llamado Arduino.

El modelode código abierto había sido usado en todo momento para realizar innovaciones en el software pero nunca en el hardware. Si querían que funcionase tenían que encontrar una solución de licencia adecuada que se pudiese aplicar a la placa. Después de pequeñas investigaciones, Banzi y su equipo miraron cada cosa desde un punto de vista diferente y decidieron usar una licencia de Creative Commons, un grupo sin ánimo de lucro, cuyos acuerdos eran normalmente usados para trabajos culturales como la escritura y la música. De acuerdo con Banzi, el hardware es una pieza de cultura que debe ser compartida con otras personas. [11]

El siguiente paso era hacer la placa. El grupo decidió fijar como meta un precio específico de 30 dólares con el fin de que los estudiantes tuvieran la posibilidad de adquirir dicha placa, ya que para Banzi, era importante que la placa fuera asequible para todos los estudiantes.

Sin embargo, también querían hacerla realmente peculiar, algo que destacase y a la vez fuese vistoso. Mientras que otra placas eran verdes, querían hacer las suyas azules. Añadieron muchos pines a la placa y además adjuntaron un pequeño mapa de Italia en la cara trasera de la placa de Arduino.

El producto creado por el equipo constaba de piezas de bajo coste con el fin de que los usuarios tuviesen la opción de crear sus propias placas si así lo deseaban. Sin embargo, una decisión importante era determinar que sería “plug and play”, algo que alguien podría sacar de una caja, conectarlo a un sistema y utilizarlo de inmediato.

Por otro lado, las placas como las de Basic exigieron a los usuarios un gran desembolso de otros elementos que había que agregar al coste total. Sin embargo en el caso de Arduino, un usuario necesita simplemente conectar un cable USB a la placa y conectarlo a un ordenador para poder programar el dispositivo [12].

1.5 Fresadoras

La primera fresadora fue construida en el año 1818, por el estadounidense Eli Whitney, con el fin de fabricar fusiles más rápidamente.

Posteriormente, en la década de 1830, la empresa Gay and Silver fabricó una fresadora que incorporaba el mecanismo de regulación vertical y un soporte para el husillo portaherramientas.

La primera fresadora universal equipada con plato divisor con la que se podían fabricar engranajes rectos y helicoidales fue diseñada por Brown and Sharpe en 1853 y fue presentada en la Exposición Universal de

París del año 1867. Años más tarde, en 1884, la empresa Cincinnati fabricó una fresadora universal que incorporaba un carnero cilíndrico posicionado axialmente.



Figura 5. Fresadora universal antigua. Fuente: University of Washington Surplus

En 1894 R. Huré diseñó un cabezal universal con el que se podían realizar diferentes mecanizados con varias posiciones de la herramienta. Este tipo de cabezal, es uno de los accesorios más utilizados actualmente en las fresadoras universales.

En la década de 1940, el inventor norteamericano, John T. Parson realizó el primer desarrollo en el campo del control numérico por computadora (CNC). El nuevo concepto de control numérico, implicaba el uso de datos en un sistema de referencia para definir las superficies de contorno de las hélices de un helicóptero.

El principio de operación común del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesamiento con respecto al objeto a procesar. Inicialmente, los desplazamientos se hacían de punto a punto, y era utilizado en las taladradoras. La invención de las funciones de interpolación lineal y circular además del cambio automático de herramientas hizo posible la construcción de una generación de máquinas-herramienta con las que se taladra, rosca, fresa e incluso se torneá, que se han denominado centros de mecanizado en lugar de fresadoras propiamente dichas.

Un primer paso en la automatización del sistema de fabricación es automatizar la máquina-herramienta mediante la implementación de un sistema de control numérico que reduzca los tiempos de mecanizado y posicionamiento.

En el caso de las fresadoras, cuando son utilizadas para operaciones en las que el tiempo de arranque de viruta es muy superior al tiempo de cambio de herramienta, como las empleadas para la fabricación de matrices, el control numérico se emplea solamente para el control de las trayectorias, se habla entonces de fresadoras de control numérico. Si, por el contrario, se utiliza para operaciones en las que los cambios de herramienta son constantes es necesario dotar a la máquina de un sistema de almacenaje y cambio automático de herramientas.

Los controles numéricos son sistemas que, a partir de una serie de instrucciones codificadas, gobiernan todas las acciones de una máquina a la que le ha sido aplicado, haciendo que ésta desarrolle una secuencia de operaciones y movimientos previamente establecidos [13]

Clasificación de los controles numéricos:

Clasificación según el tipo de control de la trayectoria de la herramienta:

Control numérico punto a punto: Controla únicamente la posición de la herramienta en los puntos donde debe efectuarse una operación de mecanizado, se utiliza fundamentalmente en taladradoras, punzonadoras y punteadoras.

Control numérico paraxial: Permite controlar la posición y trayectoria durante el mecanizado del elemento desplazable, siempre que esta última sea paralela a los ejes de la máquina y, en algunos casos, a 45°. Su uso en la práctica se limita a taladradoras y fresadoras.

Control numérico de contorno: Controlan la posición final de la herramienta así como el movimiento en cada instante de los ejes y coordinan su movimiento usando técnicas de interpolación lineal, circular y parabólica. Se puede aplicar a cualquier tipo de máquina, su coste es más elevado por su mayor complejidad. Clasificación según la forma física de realizar el control:

Control numérico: Cada una de las funciones que realiza el control es implementada por un circuito electrónico específico, realizándose la conexión entre ellos con lógica cableada. Trabajan sin memoria, con una cinta perforada como medio de introducción del programa que se ejecuta de forma secuencial, actualmente están obsoletos.

Control numérico computerizado: Incluyen memoria interna que permite el almacenamiento del programa de la pieza así como un teclado para la comunicación con el usuario que facilita la creación del programa y manipulaciones durante el mecanizado si fueran necesarias. Actualmente todos los controles que se fabrican son del tipo CNC.

Control numérico adaptativo: El controlador detecta las características del mecanizado que está realizando y en función de ellas optimiza las velocidades de corte y los avances [14].

2. Diseño mecánico

La idea de partida para diseñar esta máquina era que la herramienta de fresar, en este caso la herramienta F013 3000 de la casa DREMEL , sólo tuviera movimiento en el eje Z, por ello los movimientos en X e Y debían ser realizados por la base sobre la que colocamos el material a mecanizar.

Para conseguir un movimiento rectilíneo en los ejes se ha utilizado varilla lisa de 8 mm de diámetro sobre la que van montados unos rodamientos lineales marca KES modelo LM8. Dichos rodamientos van montados sobre unos soportes impresos con una impresora 3d.

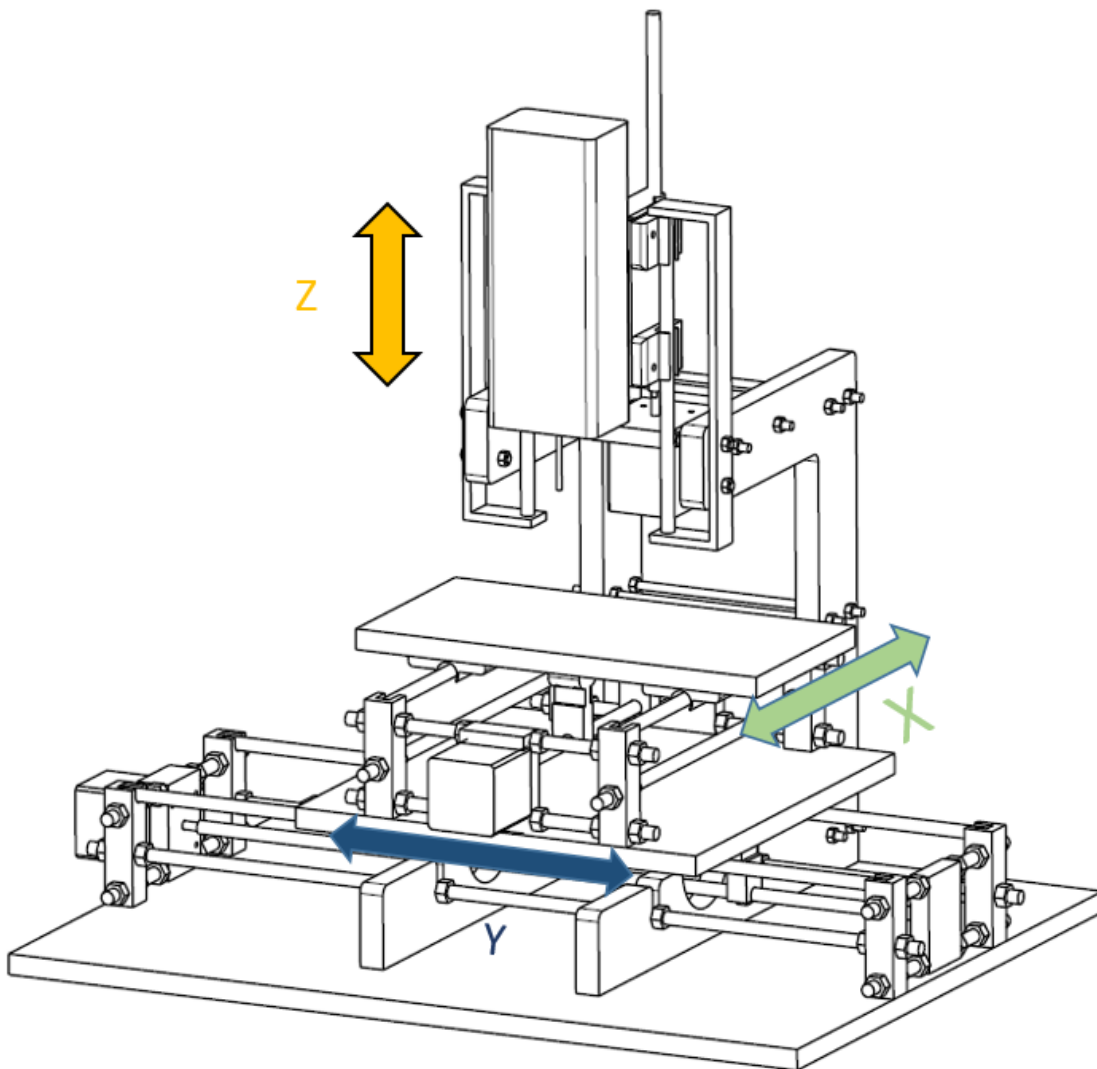


Figura 6 Máquina completa

2.1 Componentes de la maquina

En la tabla 1 se muestran los componentes de la parte mecánica del prototipo así como el número y precio de cada unidad que se emplea para realizar el prototipo.

Tabla 1 Lista de componentes

Pieza	Cantidad	Precio unitario (€)
APOYO_BARILLA	2	2
DREMEL	1	48.39
M5X165	8	0.2
M5X20	4	0.2
MOTORX	2	2
PLACA500X400	1	3
PLACAX	1	2
PLACAY	1	2
PORTICO_CNC	2	10
SOP_MOT_Z	1	2
SOPORTE_DREMEL	1	6
SOPORTE_U_EJEZ	2	4
SOPORTERODAMIENTOS	12	2
SOPORTES	8	2
TRANSMISION	4	2
TRANSMISION_Z	1	4
TUERCA_M8	76	0.08
TUERCAM5	44	0.08
VARILLA_MXZ	2	2
VARILLA_MY	1	2
VARILLA_RX	2	2
VARILLA_RY	2	2
VARILLA_XX	2	2
VARILLA_XY	4	2
VARILLA_YX	4	2
VARILLA_YY	2	2
VARILLA_ZZ	2	2
RODAMIENTOS	12	1

Precio de la parte mecánica 217.39€, se ha estimado un precio estándar de 2€ por cada pieza impresa en plástico ABS realizada con la impresora 3D.

2.2 Ejes horizontales X e Y

Ambos ejes están compuestos por los mismos componentes, la diferencia entre ambos es que tanto la placa como las varillas que componen el eje y son de mayor tamaño. Se realizará una explicación detallada de uno de ellos:

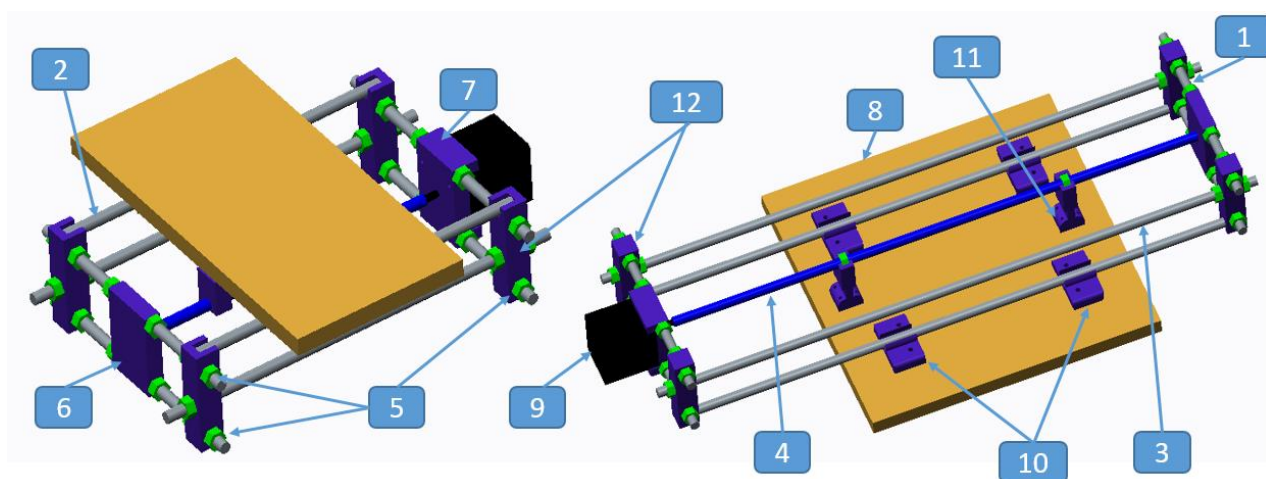


Figura 7 Ejes X e Y

En la tabla 2 podemos observar los componentes necesarios para realizar los ejes horizontales.

Tabla 2 Lista componentes ejes X e Y

Índice	Nombre del componente	Nº componentes
1	varilla_yx	4
2	varilla_yy	2
3	varilla_Ry	2
4	varilla_My	1
5	tuerca_m8	34
6	apoyo_varilla	1
7	sop_motor	1
8	placa_y	1
9	steppernema17	1
10	sop_rod	4
11	trans_mov	2
12	soportes	4

Se emplean dos tipos de varillas para la construcción de los ejes X e Y, varilla roscada de métrica 8 y varilla lisa de diámetro 8 mm. Las varillas lisas se utilizan para conseguir un movimiento lineal de la placa del respectivo eje, mientras que las varillas roscadas se emplean para fijar la distancia entre los distintos componentes mediante tuercas y dar rigidez al conjunto.

Se escogió un diámetro de 8 mm para las varillas para que soportara sobradamente los esfuerzos que se iban a producir en la máquina y las proporciones con el resto de los componentes fueran correctas.

Componente 6, apoyo varilla: Pieza realizada con la impresora 3D en plástico ABS

Esta pieza fue diseñada para proveer de un punto de apoyo a la varilla roscada de métrica 8 que gira solidaria a los motores stepper de los ejes X e Y.

Para realizar su función tiene dos agujeros pasantes que la sujetan a las varillas roscadas perpendiculares al eje en el que van a proveer el punto de apoyo y un agujero ciego central en el que apoya la varilla que gira solidaria al motor:

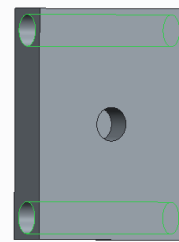


Figura 8 Apoyo_varilla

Componente 7, sop_mot: Pieza realizada con la impresora 3D en plástico ABS

Es la pieza utilizada como soporte para los motores stepper de los ejes X e yY. Ésta pieza contiene 5 agujeros pasantes en el plano perpendicular al eje en el que se montan, uno de ellos, el central, es para el eje del motor siendo los cuatro restantes para los tornillos que fijan el motor al soporte. También posee un rebaje circular concéntrico con el agujero para el eje del motor con el fin de que la pieza se ajuste al motor lo mejor posible, por último para fijar la pieza al conjunto se emplean dos agujeros pasantes de diámetro 8 por los que pasan las varillas roscadas.

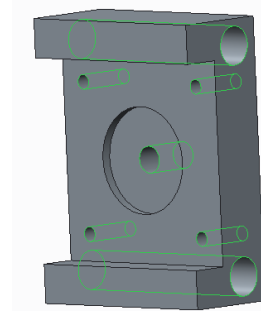


Figura 9 Soporte_motor

Componente 10, soporte rodamiento: Pieza realizada con la impresora 3D en plástico ABS

Sirve para alojar los rodamientos lineales y fijarlos mediante dos tornillos a las placas de los ejes.

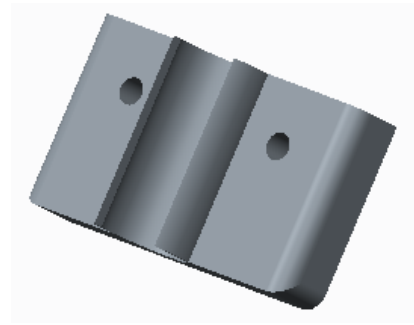


Figura 10 Soporte rodamiento

Componente 11, trans mov: Pieza realizada con la impresora 3D en plástico ABS

Es la pieza más compleja del conjunto, tanto a la hora de diseño como a la de fabricarla, ya que posee un alojamiento hexagonal que impide el movimiento de la tuerca que posteriormente se coloca en su interior para evitar que gire cuando lo hace la varilla roscada que pasa por su interior por acción de alguno de los motores, esto se traduce en un movimiento lineal de la pieza, que mediante cuatro tornillos se transmite a las bases X o Y.

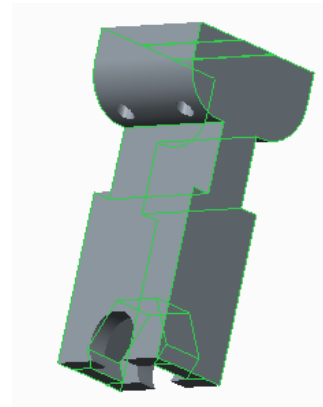


Figura 11 Transmisión movimiento

Componente 12, soportes: Pieza realizada con la impresora 3D en plástico ABS

Es el pilar fundamental de los ejes X e Y, empleando varilla roscada de métrica 8 y sus correspondientes tuercas fijamos la posición de los soportes en el plano perpendicular al eje que estemos montando utilizando los taladros 1, con el mismo tipo de varilla fijamos la posición en la dirección del eje a través del taladro 3, finalmente utilizamos el rebaje 2 para colocar la varilla lisa sobre la que deslizan los rodamientos en la dirección del eje.

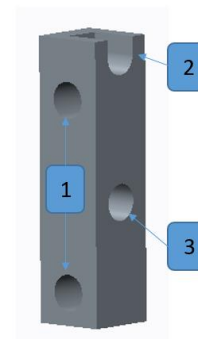


Figura 12 Soporte

2.3 Eje vertical Z

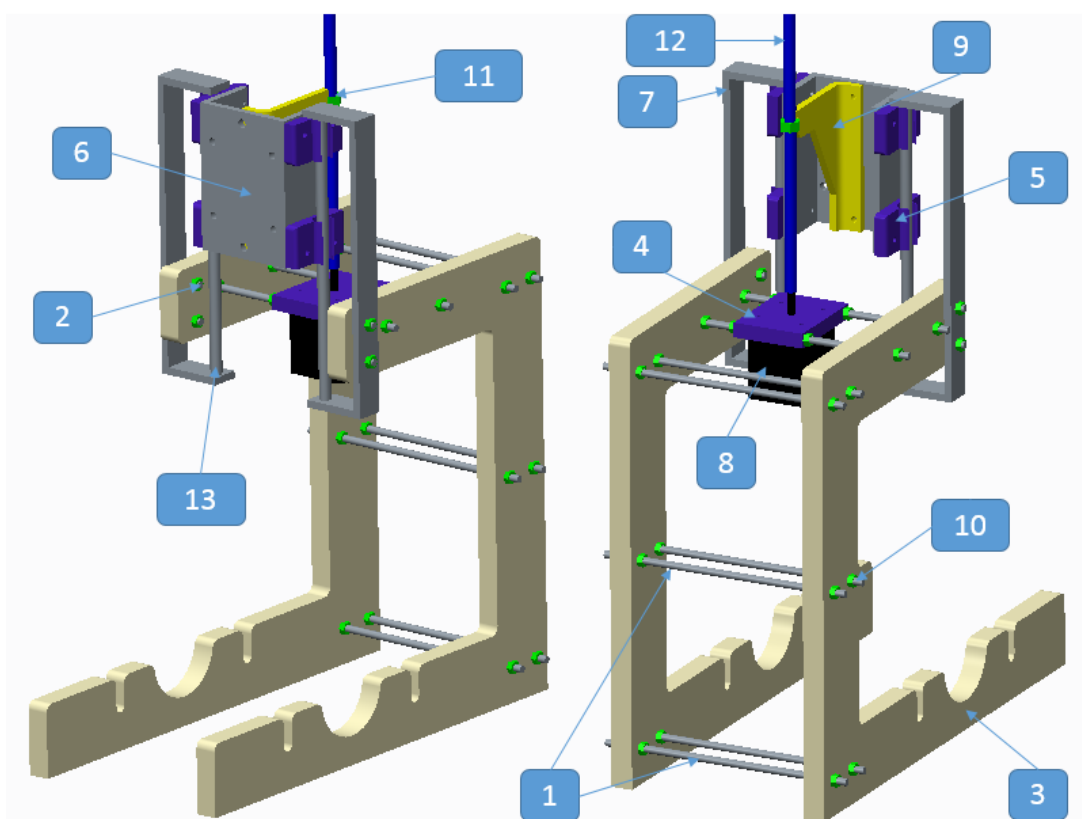


Figura 13 Eje Z

En la tabla 3 se muestran los componentes del eje vertical.

Tabla 3 Lista componentes eje Z

Índice	Nombre del componente	Nº componentes
1	M5X165	8
2	M5X20	4
3	PORTICO_CNC	2
4	SOP_MOT_Z	1
5	SOP_ROD	4
6	SOPORTE_DREMEL	1
7	SOPORTE_U_EJEZ	2
8	STEPPER NEMA17	1
9	TRANSMISION_Z	1
10	TUERCA_M5	44
11	TUERCA_M8	1
12	VARILLA_MXZ	1
13	VARILLA_ZZ	2

PORTICO CNC: El pórtico se ha realizado en metacrilato de 15mm de espesor, se escogió este material con este grosor para que apoyase correctamente sobre la base de la máquina y fuese capaz de transmitir los esfuerzos producidos durante el mecanizado.

Los taladros en la parte vertical son para atornillar varilla roscada de métrica 5 y dar rigidez al conjunto, los taladros en la parte horizontal superior son para sujetar el soporte del motor que transmite el movimiento al eje z y el soporte de las varillas lisas sobre las que desliza el soporte de la fresadora.

El corte semicircular en la parte inferior permite la translación sin interferencias de la transmisión del “eje y”, mientras que los mecanizados en forma de U permiten fijar la posición del pórtico respecto de los soportes del “eje y” facilitando el montaje del conjunto.

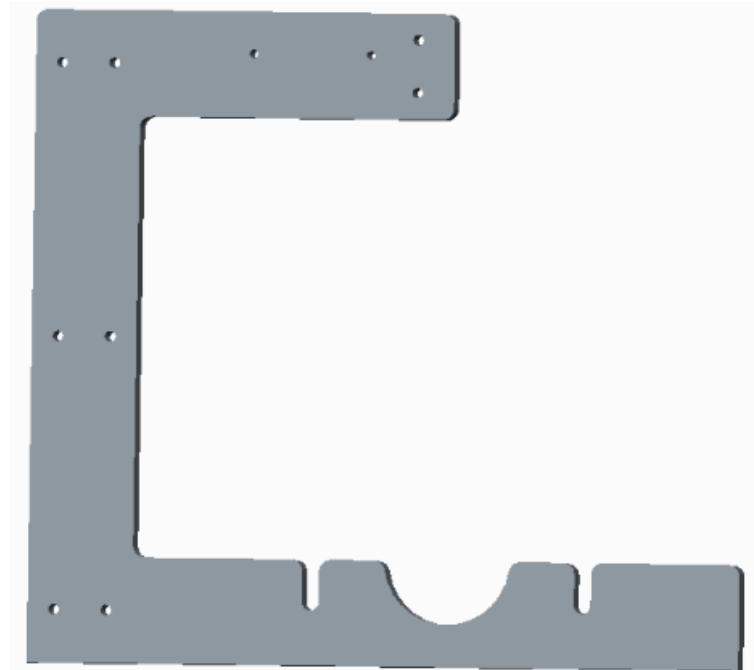


Figura 14 Pórtico

SOP MOT Z: Esta pieza, que va montada en paralelo a los ejes x e y, tiene por objetivo fijar la posición del motor que transmite el movimiento al eje z, para ello dispone de 5 taladros y un rebaje circular en la cara perpendicular al eje z, fijando el motor al soporte mediante cuatro tornillos, y dos taladros pasantes para fijar el soporte a la varilla que fija los pórticos.

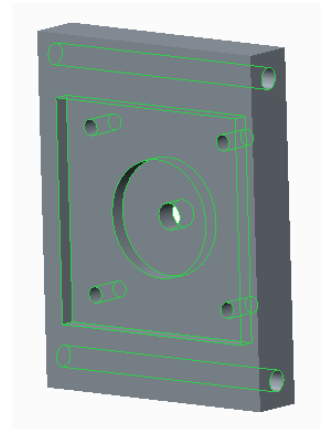


Figura 15 Sop_mot_z

SOPORTE DREMEL: Debido a las limitaciones de la impresora 3d con las que se han realizado las piezas impresas y a que esta es la pieza que recibe directamente los esfuerzos producidos en el mecanizado se decidió realizar este soporte en aluminio de 5mm de espesor.

Los taladros 2 son para montar los soportes de los rodamientos, la pareja de taladros 1 se utilizan para fijar la transmisión del eje z al soporte, con el resto de taladros fijamos la fresadora.

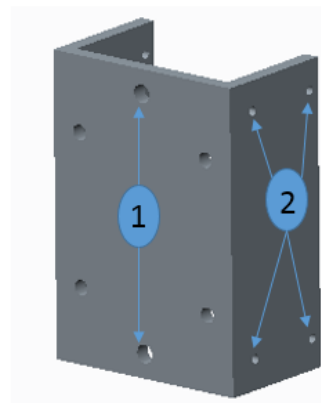


Figura 16 Soporte fresadora

SOPORTE U Z: Esta pieza ha sido realizada en aluminio de 5mm de espesor debido a la necesidad de precisión, ya que si las varillas lisas que van montadas en estos soportes no quedan paralelas entre sí y perpendiculares al pórtico el movimiento en el eje Z no podría realizarse de forma correcta. En la parte superior se realiza un agujero pasante para facilitar el montaje mientras que en la parte inferior se realiza un taladro ciego para que apoyen las varillas.

Los taladros de menor diámetro se utilizan para fijar el soporte al pórtico.

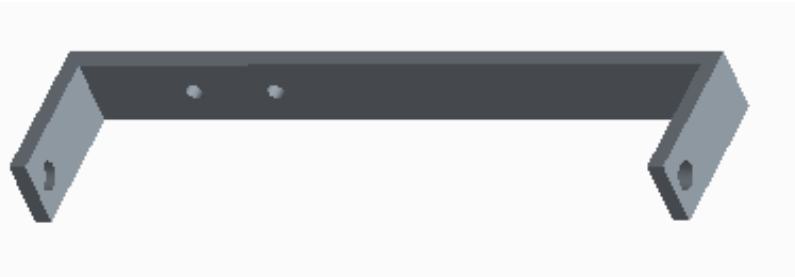


Figura 17 Soporte_U_Z

SOPORTE RODAMIENTOS: pieza imprimible que sirve para fijar los rodamientos lineales mediante dos tornillos a las placas de los ejes x e y o al soporte del eje z.

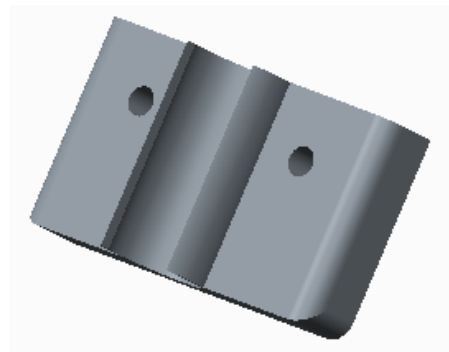


Figura 18 Soporte rodamiento

TRANSMISIÓN Z: Esta pieza se ha realizado en aluminio de 5mm de espesor ya que se monta solidaria con la pieza que soporta la fresadora mediante los taladros pasantes, el rebaje en forma de U se utiliza para montar una tuerca de métrica 8 que transmite el movimiento al eje z, esta tuerca se fija mediante un adhesivo.

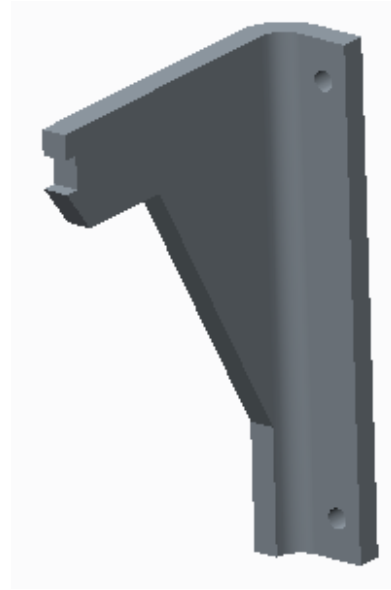


Figura 19 Transmisión_z

2.4 Cálculo de las fuerzas ejercidas durante el fresado del material.

Para el cálculo de estas fuerzas se ha utilizado la potencia máxima disponible por la herramienta para fresar y el diámetro de la fresa más pequeña que se puede emplear.

La potencia de la fresadora $P_d=130W$

$$\text{Si } n=2000 \text{ rpm} \Rightarrow \omega = 524 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$$

Ecuación 1

$$\text{Si } n=5000 \text{ rpm} \Rightarrow \omega = 209.5 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$\text{Si } n=2000 \text{ rpm} \Rightarrow M=0.62 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{P}{\omega}$$

Ecuación 2

$$\text{Si } n=5000 \text{ rpm} \Rightarrow M=0.25 \text{ Nm}$$

Con una fresa de diámetro 3mm:

$$\text{Si } n=2000 \text{ rpm} \Rightarrow F=413 \text{ N}$$

$$F=M/r$$

Ecuación 3

$$\text{Si } n=5000 \text{ rpm} \Rightarrow F=170 \text{ N}$$

Una vez conocidas las fuerzas se llevó a cabo un análisis por elementos finitos del conjunto utilizando el modulo SIMULATE de CREO, para realizar la simulación se han colocado tres cargas del valor calculado anteriormente actuando simultáneamente en la punta de la fresa, actuando en las direcciones de los ejes. Gracias a este cálculo sabemos el valor de las tensiones máximas y dónde se producen en el conjunto, adicionalmente se realizó un cálculo de los desplazamientos que producen dichas cargas en la estructura.

2.5 Análisis numérico

Cálculo de las tensiones de VM y desplazamientos con una carga de 413N:

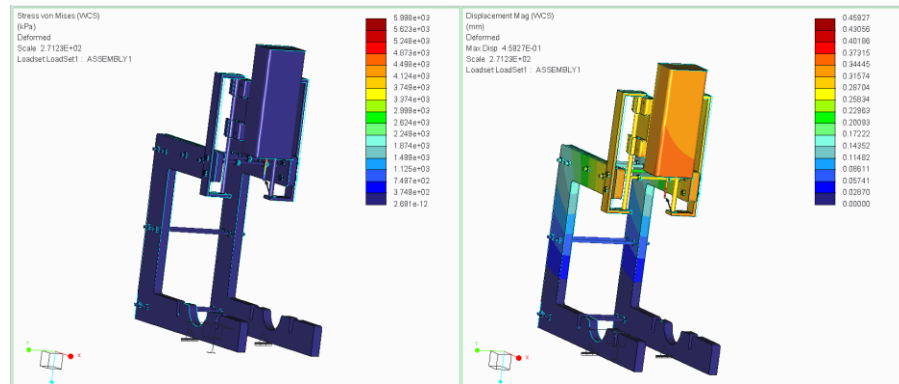


Figura 20 Elementos finitos con $f=413N$

Cálculo de las tensiones de VM y desplazamientos con una carga de 170N:

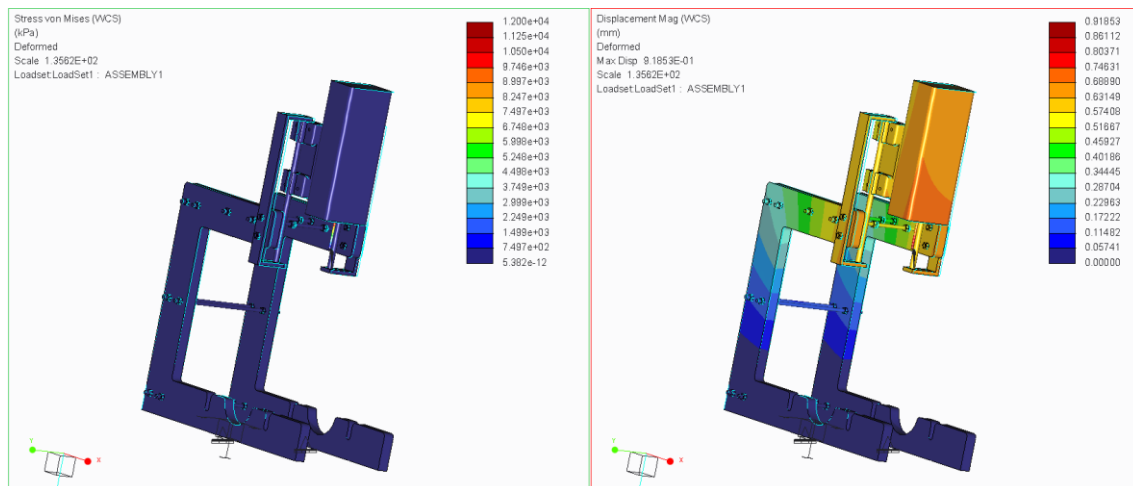


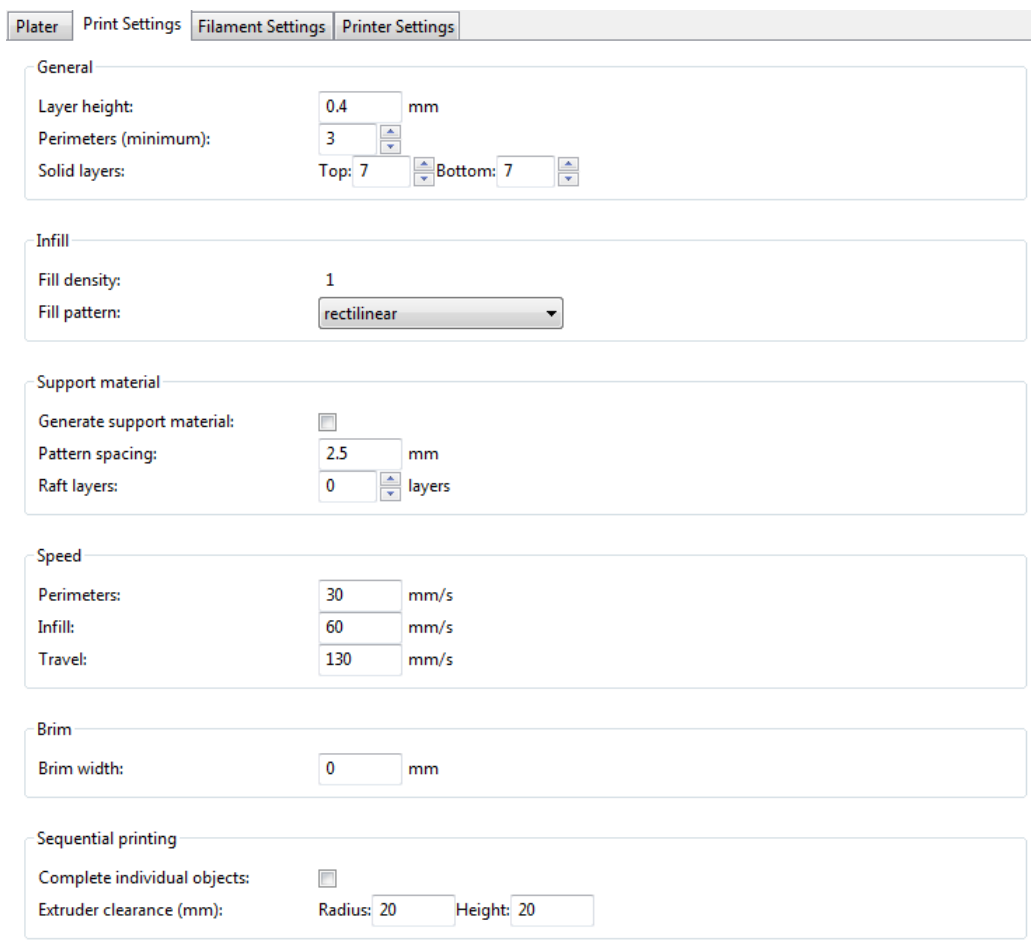
Figura 21 Elementos finitos con $f=170N$

Como podemos observar en las imágenes anteriores, el desplazamiento máximo producido cuando trabajamos con la máquina a 2000 r.p.m es de 0.81mm, siendo este valor de 0.46 mm cuando la máquina trabaja a 5000 r.p.m.

Estos cálculos son válidos cuando la fresadora trabaja al límite de potencia, es decir, cuando la combinación de dureza del material, ángulo de corte, y velocidad de avance de la fresa alcanzan dicho límite, que no es el objetivo de este proyecto. Para rebajar el desplazamiento al mínimo se realizarán los fresados a la máxima velocidad disponible por la fresadora, en este caso 10000 r.p.m, a costa de tener una vida útil de la fresa menor.

2.6 Fabricación de los componentes realizados con la impresora 3d:

La impresora utilizada ha sido una PRUSA I3, y los parámetros de impresión los siguientes:



Printer Settings

General

Layer height: 0.4 mm

Perimeters (minimum): 3

Solid layers: Top: 7 Bottom: 7

Infill

Fill density: 1

Fill pattern: rectilinear

Support material

Generate support material: ☐

Pattern spacing: 2.5 mm

Raft layers: 0 layers

Speed

Perimeters: 30 mm/s

Infill: 60 mm/s

Travel: 130 mm/s

Brim

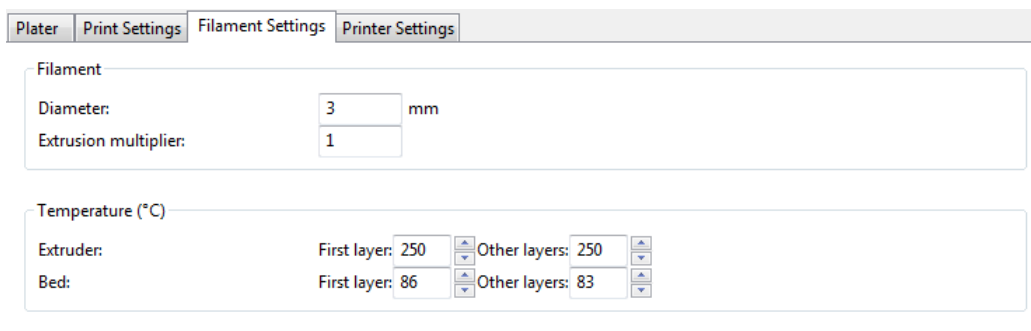
Brim width: 0 mm

Sequential printing

Complete individual objects: ☐

Extruder clearance (mm): Radius: 20 Height: 20

Figura 22 Parámetros de impresión 1



Printer Settings

Filament

Diameter: 3 mm

Extrusion multiplier: 1

Temperature (°C)

Extruder: First layer: 250 Other layers: 250

Bed: First layer: 86 Other layers: 83

Figura 23 Parámetros de impresión 2

En las figuras 22 a 28 podemos observar en detalle el proceso de impresión de los soportes para los rodamientos y los soportes laterales:

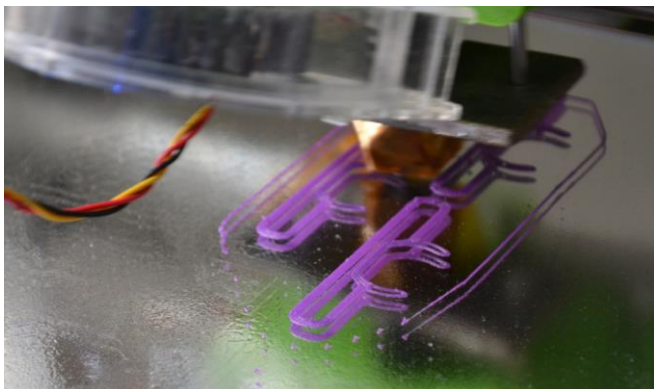


Figura 24 Impresión soportes rodamiento 1

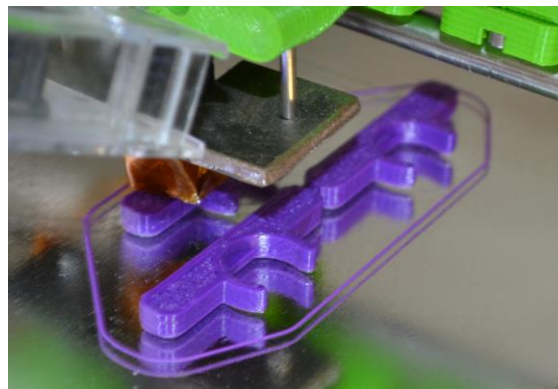


Figura 25 Impresión soportes rodamiento 2

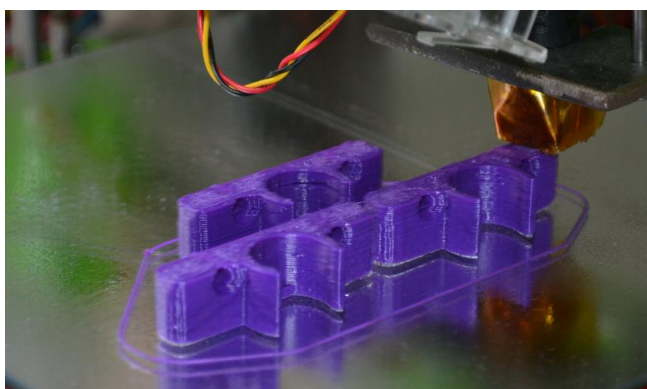


Figura 26 Impresión soportes rodamiento 3

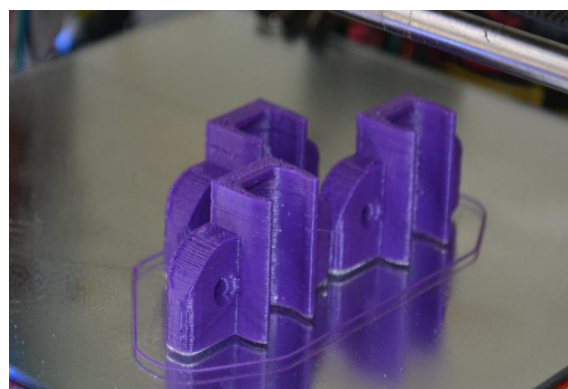


Figura 27 Impresión soportes rodamiento 4

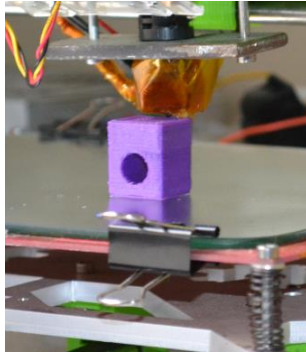


Figura 28 Impresión soporte 1

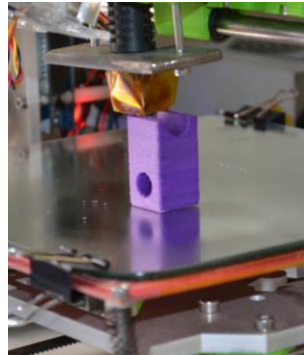


Figura 29 Impresión soporte 2

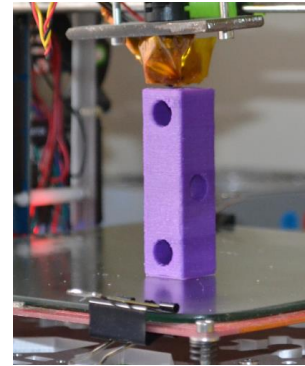


Figura 30 Impresión soporte 3

Las piezas realizadas en aluminio se realizaron en una fresadora comercial, que podemos observar en la figura 29, con ello se consiguió sobradamente la precisión requerida para esta aplicación.

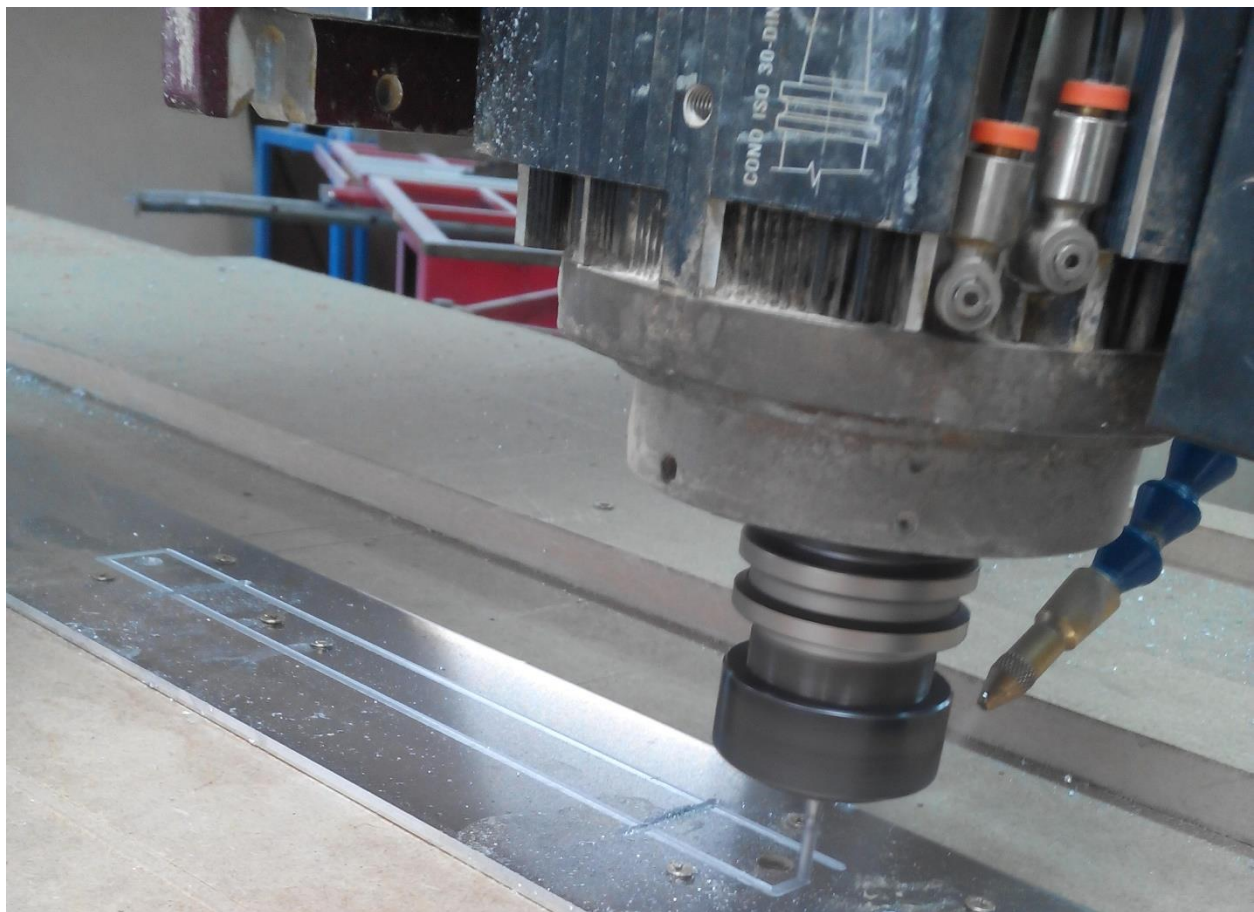


Figura 31 Realización de piezas en aluminio con fresadora industrial

2.7 Montaje

1º Introducimos la varilla roscada de métrica 8 en el soporte del motor y fijarla aproximadamente en la posición central con dos tuercas por cada lado, como se indica en la figura 30.

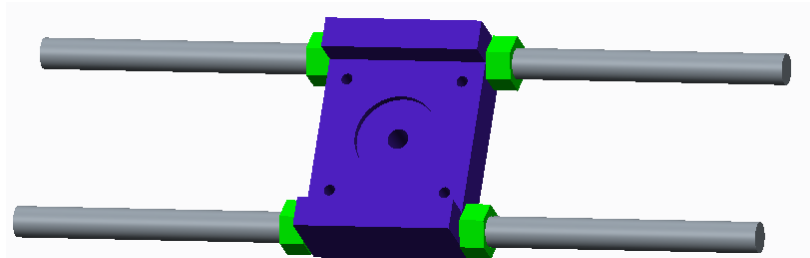


Figura 32 Disposición del soporte del motor

2º Realizamos la misma operación con la pieza apoyo_varilla.

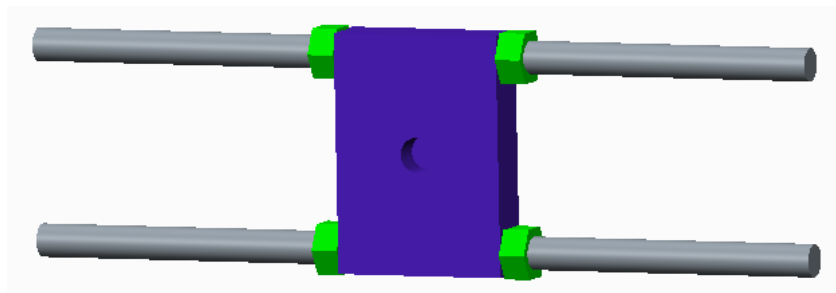


Figura 33 Disposición del poyo para la varilla

3º En los dos conjuntos de piezas que ya tenemos, montamos los soportes como se muestra en la figura 33, fijando una distancia entre soportes de 134 mm y ajustando la posición de la pieza central en el punto medio entre soportes.

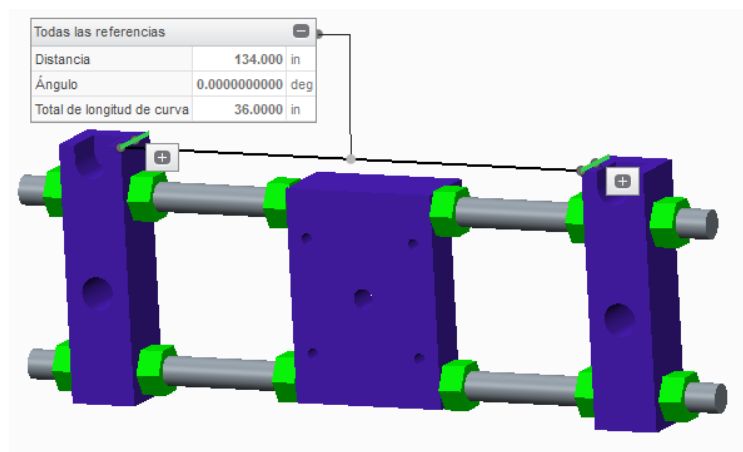


Figura 34 Distancia entre soportes perpendicular al eje

4° En este paso fijamos la distancia entre soportes en la dirección del eje que estemos montando con varilla roscada de métrica 8, dependiendo de si es el eje X o el Y la distancia variará, en la imagen mostrada más abajo podemos observar el eje X, con una distancia entre soportes de 224 mm, siendo para el eje Y una distancia de 476 mm. Es importante en este paso dejar montadas cuatro tuercas de métrica 8 en cada varilla roscada del eje y que servirán posteriormente para fijar el eje y con el z.

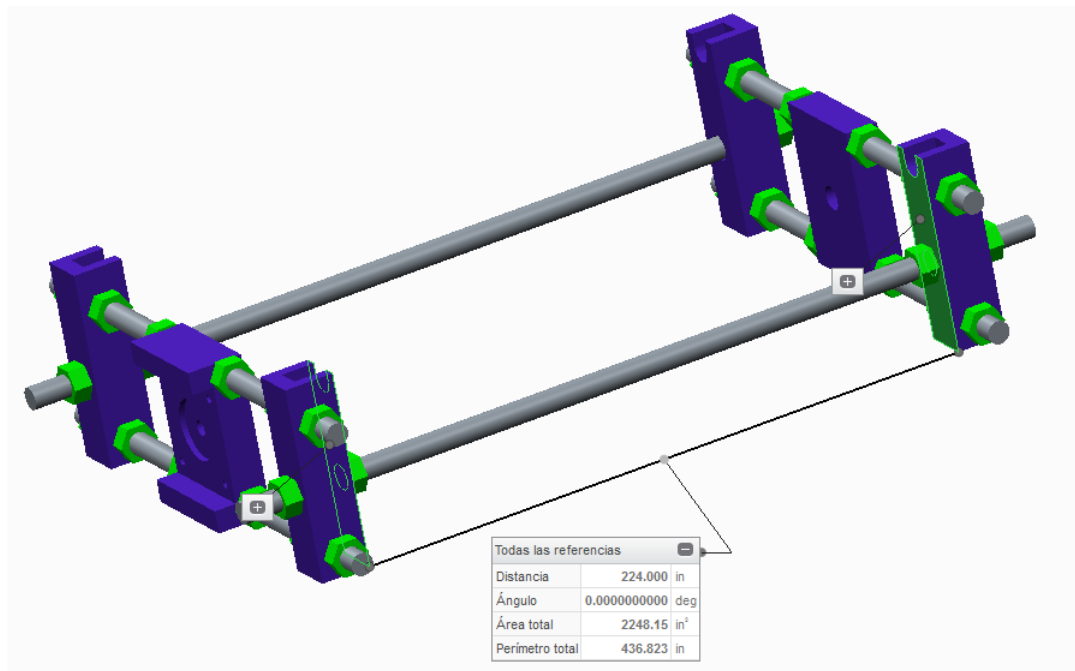


Figura 35 Distancia entre soportes paralela al eje x

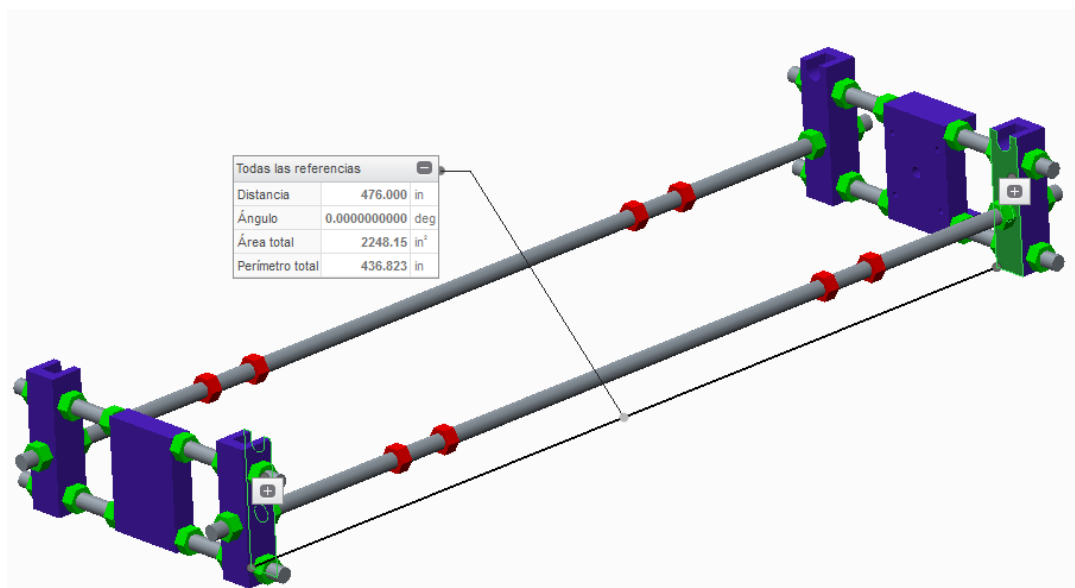


Figura 36 Distancia entre soportes paralela al eje y

5° Atornillar los soportes para los rodamientos en la correspondiente placa (x o y) a una distancia entre soportes de 152 mm centrados en la placa y a 10 mm del borde de esta, como se indica en la figura 37.

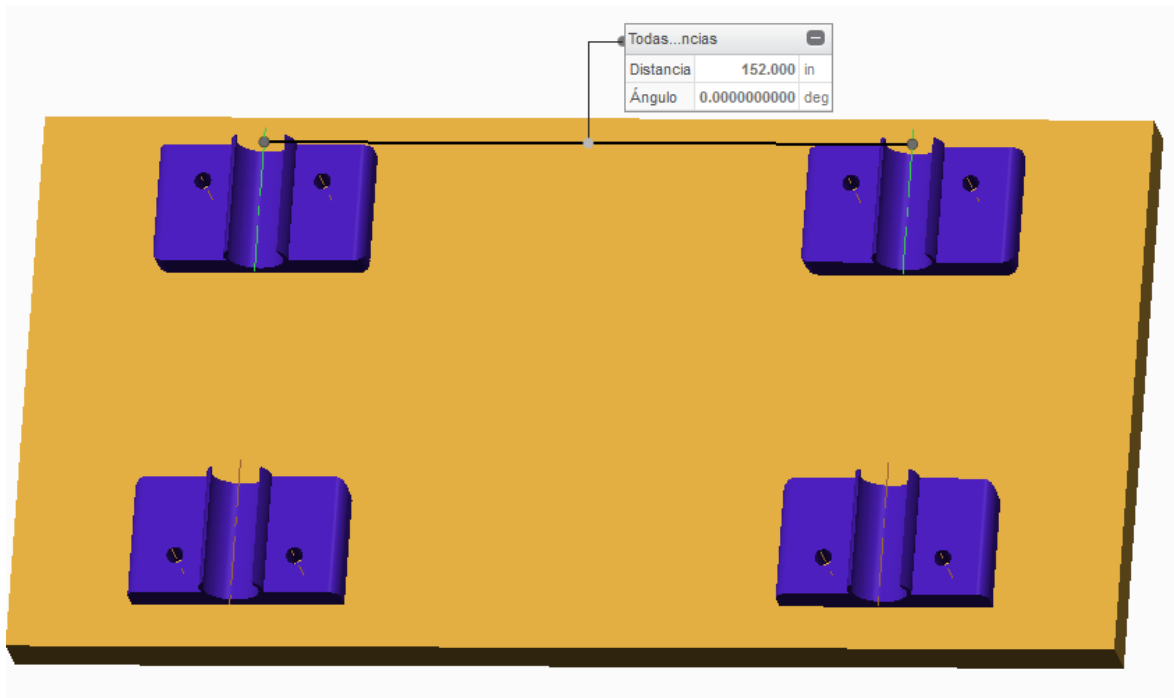


Figura 37 Distancia entre soportes de rodamientos

6° Montar las tuercas de métrica 8 en el agujero hexagonal de las dos piezas que transmiten el movimiento del motor a la placa (transmisión).



Figura 38 Conjunto de transmisión de movimiento en los planos x e y

7° Se atornillan las transmisiones centradas en la placa y a 10 mm del borde de la misma, tal y como se puede observar en la figura

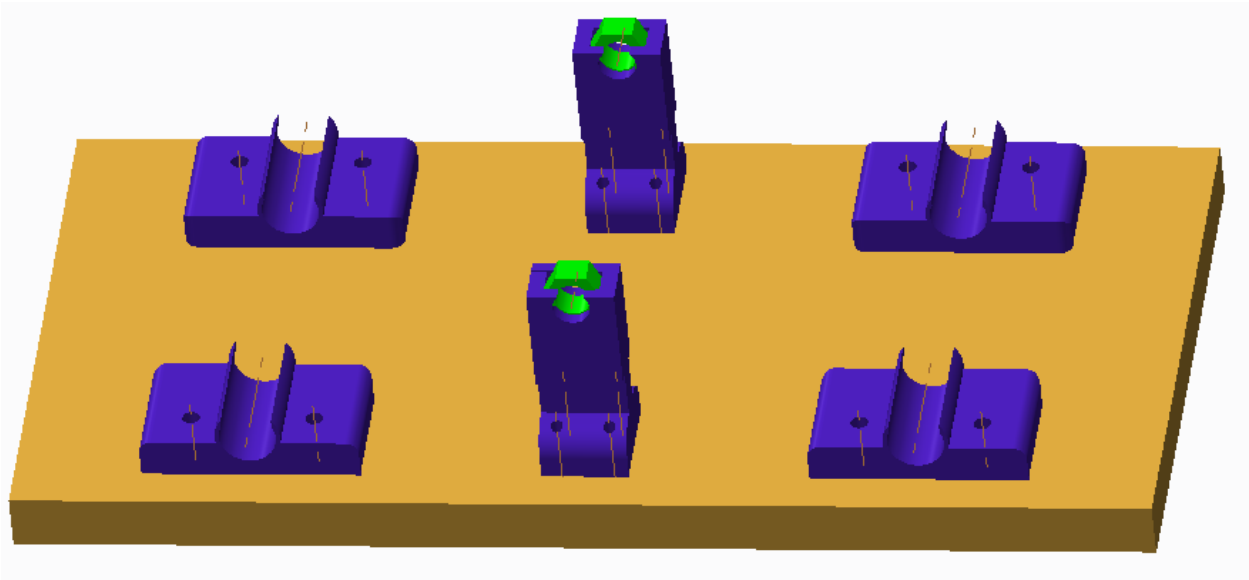


Figura 39 Placa con soportes y transmisión

8° Se montan los rodamientos lineales en los soportes realizados para ello y se introduce varilla lisa de diámetro 8 por los rodamientos, también montaremos la varilla roscada de métrica 8 en las tuercas que van fijas a la transmisión.

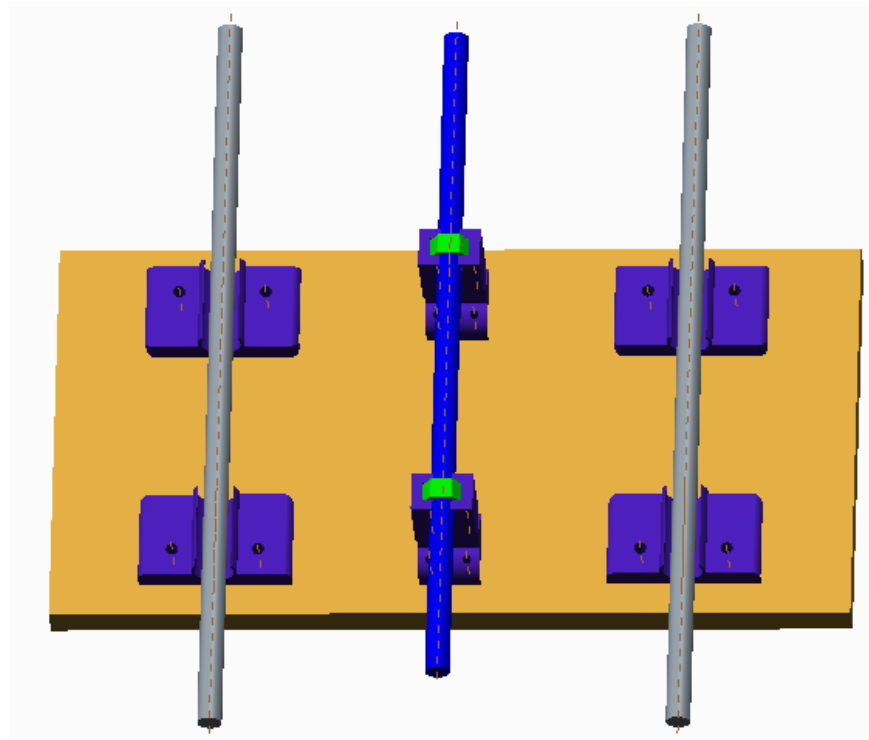


Figura 40 Placa con varillas

9° Montar el motor en su soporte.

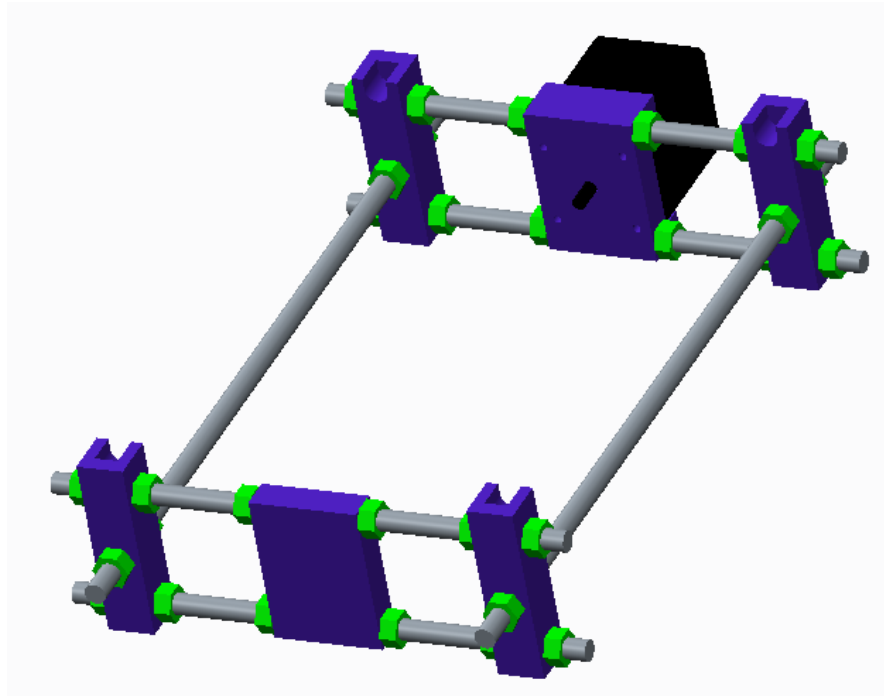


Figura 41 Estructura eje

10° El paso final consiste en montar la placa con los componentes que hemos realizado anteriormente en la estructura y unir el eje del motor con la varilla roscada.

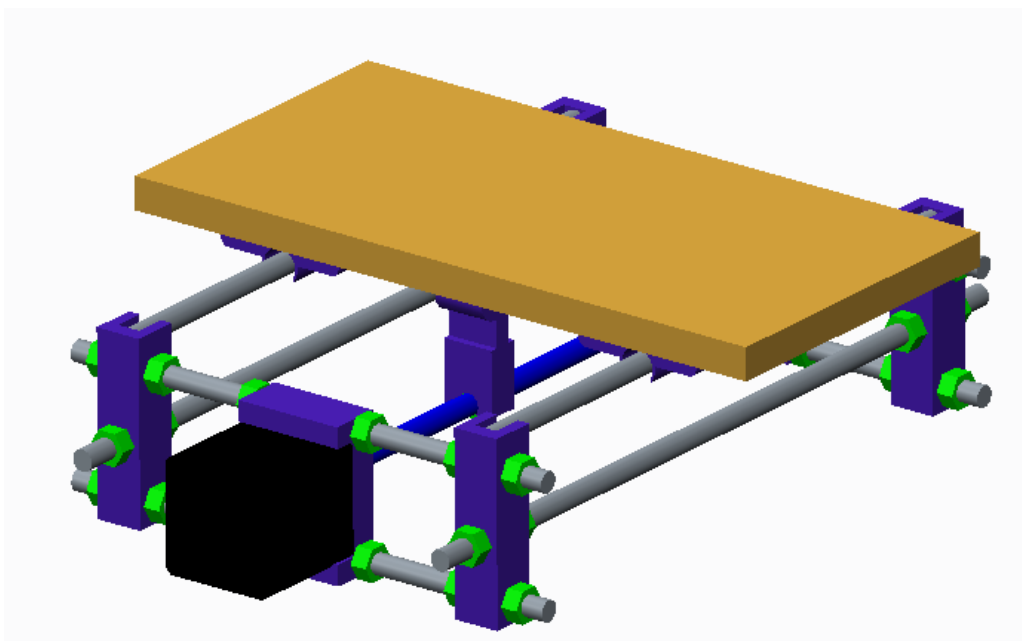


Figura 42 Eje completo

EJE Z

1° Montar el soporte del motor del eje z con dos varillas roscadas de métrica 5 y fijar su posición con dos tuercas por cada lado.

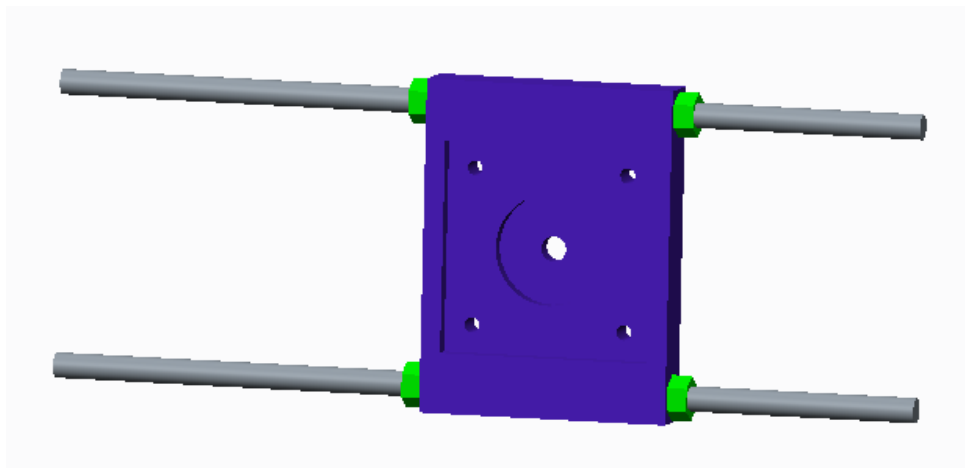


Figura 43 Soporte para motor

2° Montar el motor en el soporte

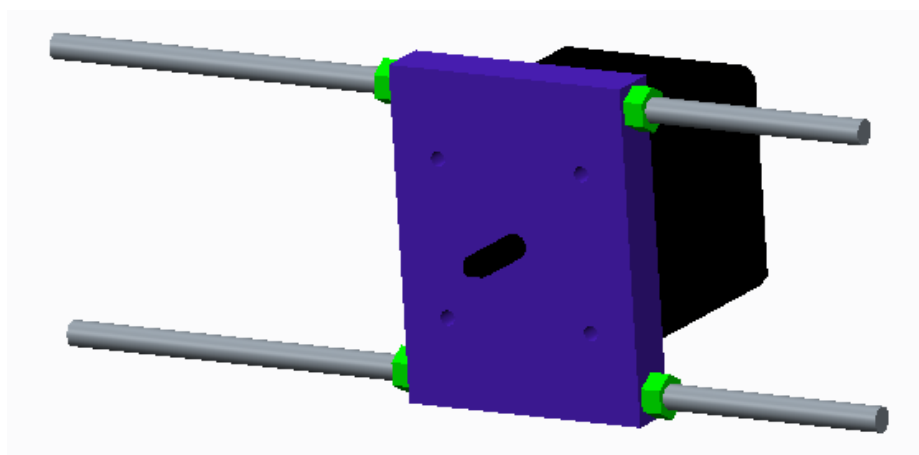


Figura 44 Soporte y motor

3° Fijar la distancia entre los pórticos utilizando el ensamble creado anteriormente con el soporte, el motor y la varilla y el resto de varillas de métrica 5 a una distancia de 125 mm.

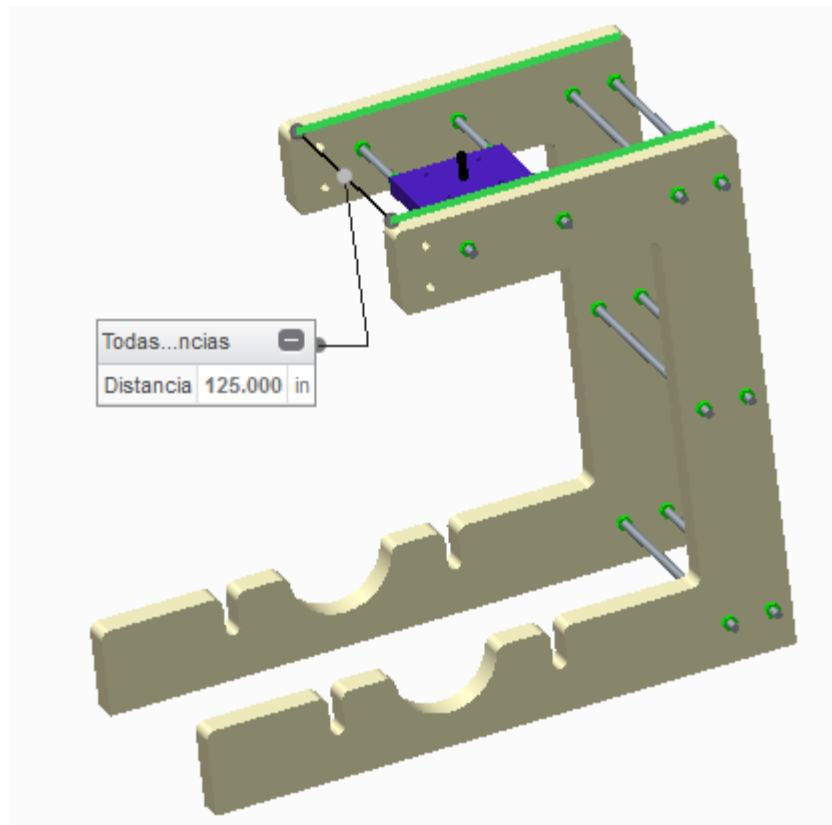


Figura 45 Distancia entre pórticos

4° Montar en el soporte de la fresadora los cuatro soportes para los rodamientos.

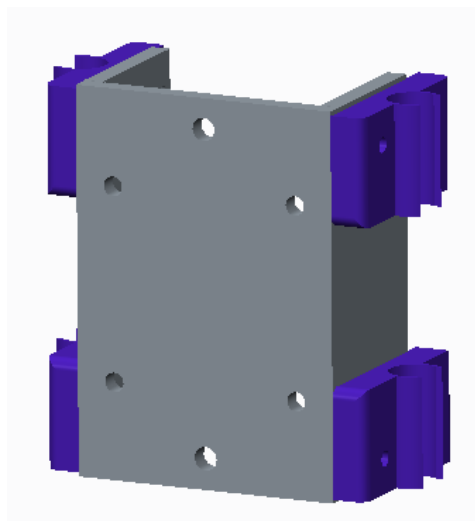


Figura 46 Soporte fresadora

5° Montar en los pórticos los soportes en u para el eje z utilizando las varillas cortas de métrica 5 y sus correspondientes tuercas

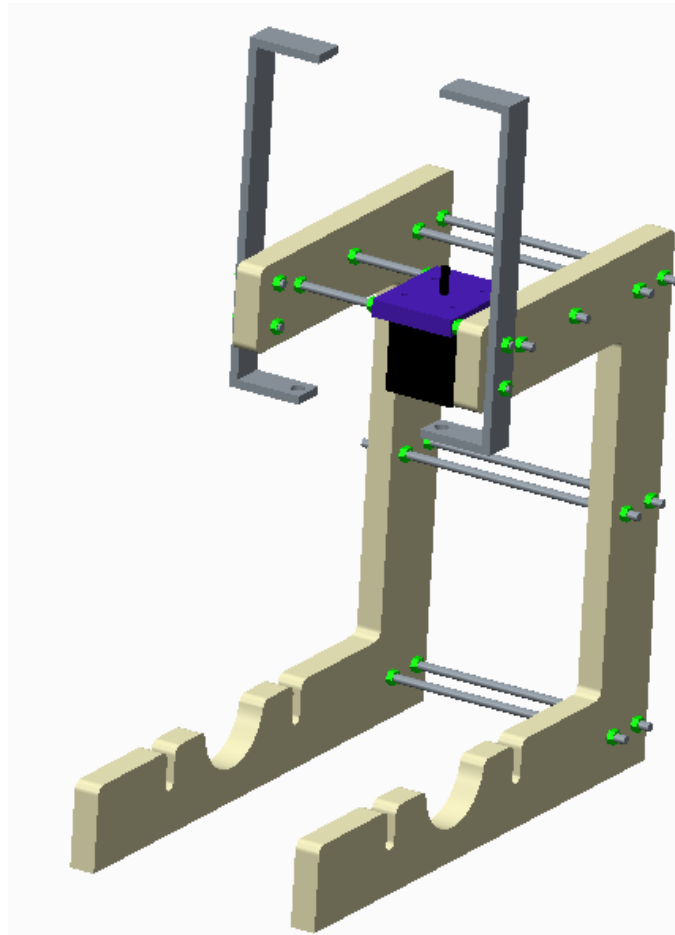


Figura 47 Pórticos y guías

6° Atornillar la transmisión del eje z al soporte de la fresadora y pegar la tuerca de métrica 8 a la transmisión.

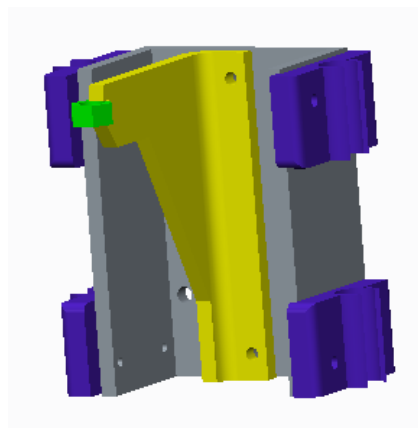


Figura 48 Transmisión y soporte fresadora

7° Montar los rodamientos en sus soportes, introducir la varilla lisa de diámetro 8 en los rodamientos, colocar el conjunto con las varillas lisas en los soportes en u ya montados en el pórtico y ajustar la posición del soporte del motor para que el eje del motor quede alineado con la tuerca de métrica 8, una vez hecho esto montar la varilla roscada de métrica 8 y unirla al eje del motor.

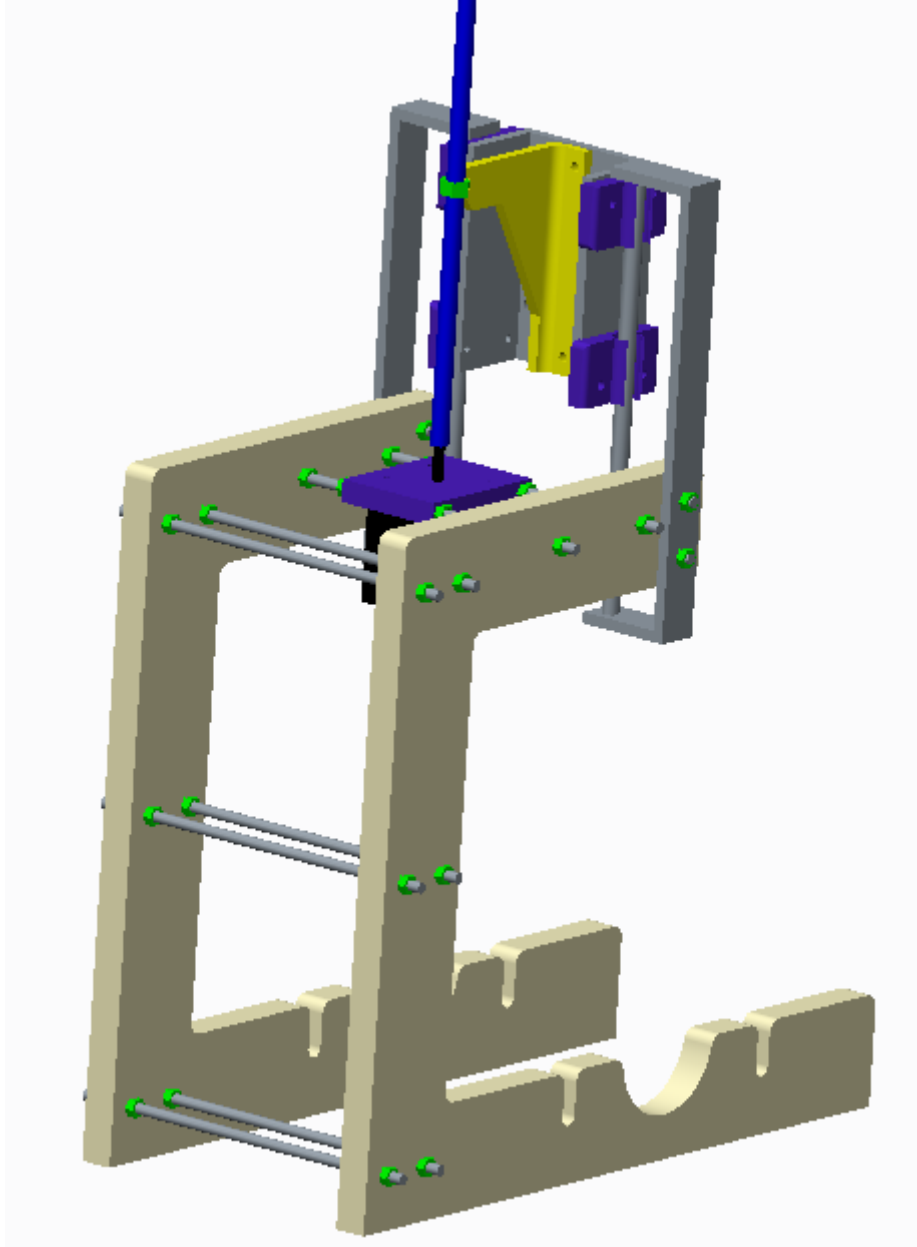


Figura 49 Eje vertical completo

Con todos los ejes ya montados solo queda unirlos, la unión de z e y se realiza con tuercas de métrica 8 que hemos montado anteriormente en el eje y. Los pórticos deben quedar centrados respecto al eje y.

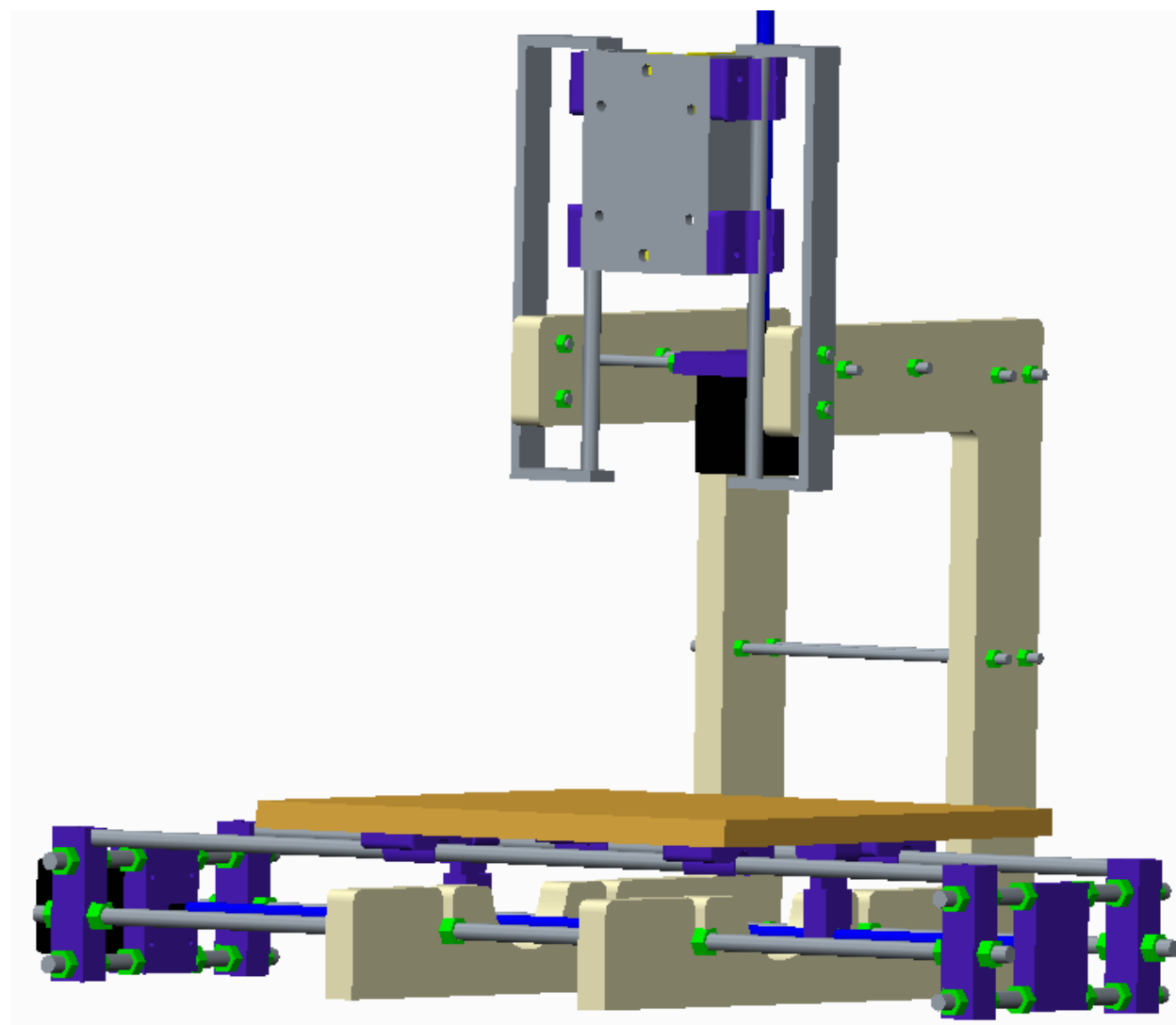


Figura 50 Ejes horizontal y vertical completos

Por último fijamos el eje x centrado en la placa del y, con esto habremos terminado de montar la máquina a falta de montar la fresadora o el utensilio que queramos controlar numéricamente, que puede ser desde un láser hasta un microscopio.

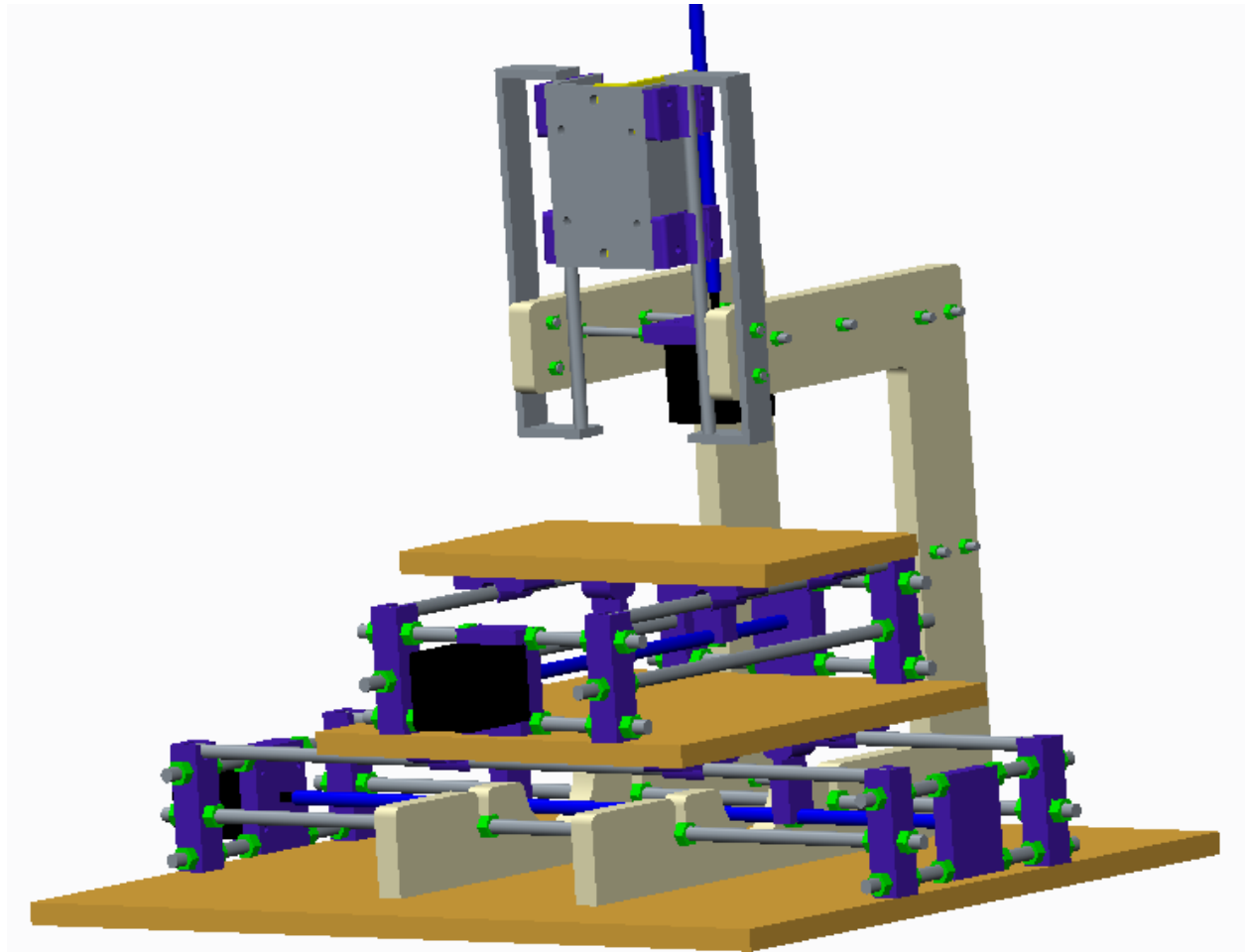


Figura 51 Conjunto completo

3. Actuadores (diseño electrónico)

En este capítulo se describirá el circuito electrónico y los componentes del mismo que permiten controlar la máquina, así como el proceso de realización y montaje del circuito.

Tabla 4 Lista componentes electrónicos

Pieza	Cantidad	Precio unitario (€)
Arduino UNO	1	12
chip pololu	3	3.45
Fuente de alimentación	1	15
Interruptor fin de carrera	5	0.6
Motor	3	16
Ventilador	2	1.5

El coste total de las piezas empleadas en este apartado asciende a 80.35€

El movimiento en los ejes es producido en todos los casos por motores stepper cuyas características están disponibles en la Tabla 5, la máquina tiene equipado un motor por cada eje. Para realizar la transmisión de movimiento de los motores se utiliza en todos los casos varilla roscada de métrica 8 que gira solidaria con el eje del motor, a la vez que gira produce un desplazamiento lineal en los ejes por medio de una tuerca de métrica 8 y la pieza mecánica diseñada para tal efecto.

Tabla 5 Características motor

Brand	Heacent
Model	YH42BYGH47-401A
Quantity	1
Color	Black+ Silver
Material	Aluminum+Copper
Voltage	DC 12V
Power Cord Length	95 cm, 1.8 degrees, 1.5A, 0.55N.m

Los motores se controlan mediante chips POLOLU A4988 que se gestionan desde Arduino UNO. Estos chips simplifican el número de pines que necesitamos en Arduino para controlar los motores, empleando los chips podemos controlar los motores con dos pines mientras que necesitaríamos un mínimo de cuatro pines por motor si no los utilizáramos, esto permite un ahorro importante ya que podemos controlar una máquina de tres ejes con Arduino UNO, que dispone de 13 pines digitales, podemos ver un esquema en la figura 52.

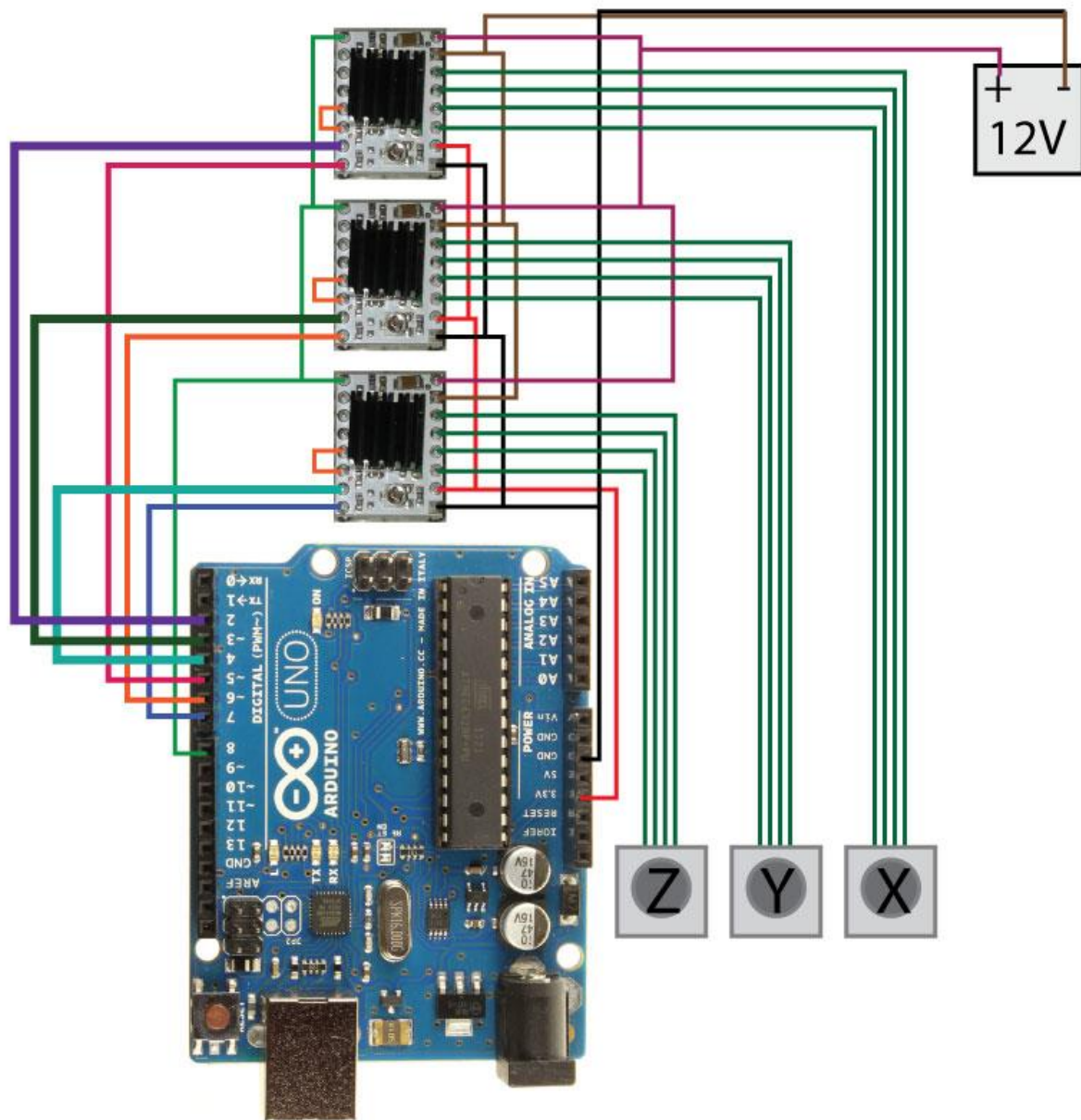


Figura 52 Esquema de conexiones [15]

El primer montaje se realizó sobre una placa de prototipado, se muestra el montaje en la figura 53, una vez se comprobó que el funcionamiento de la máquina era correcto se decidió utilizar el programa RS DESING SPARK para dibujar el circuito y posteriormente realizar el circuito impreso para simplificar las conexiones y ganar fiabilidad, el proceso fue el siguiente:

En la figura 53 observamos el circuito realizado en la placa de prototipado, se incluyen las conexiones de los motores, de los interruptores fin de carrera y la conexión de todos ellos con Arduino:

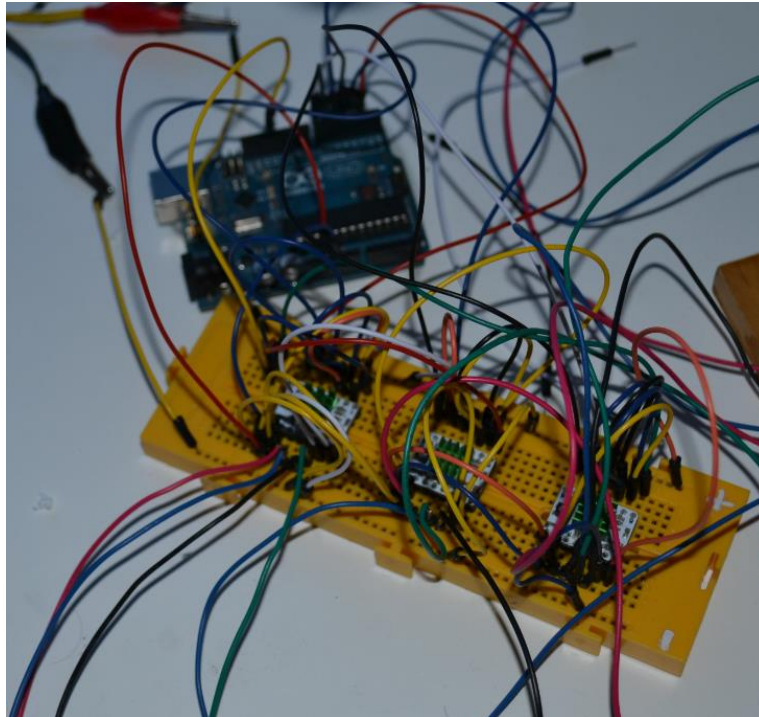


Figura 53 Montaje en placa de prototipos

Diseño: Se utilizó el software gratuito RS Desing Spark [16] para realizar el circuito, se puede observar en la figura 54, debido a que el número de conexiones que han de realizarse es elevado y a que el diseño se realizó para una placa de una cara han de realizarse algunas conexiones mediante cables entre puntos de la placa para lograr un funcionamiento correcto de la máquina.

El diseño contiene los puntos necesarios para montar los chips “pololu” así como las conexiones necesarias entre puntos del mismo, también queda impresa la conexión entre los chips y el controlador (arduino), por último posee los pines necesarios para conectar los sensores fin de carrera que se montarán posteriormente en la máquina y que evitan que ésta intente realizar sobre recorridos.

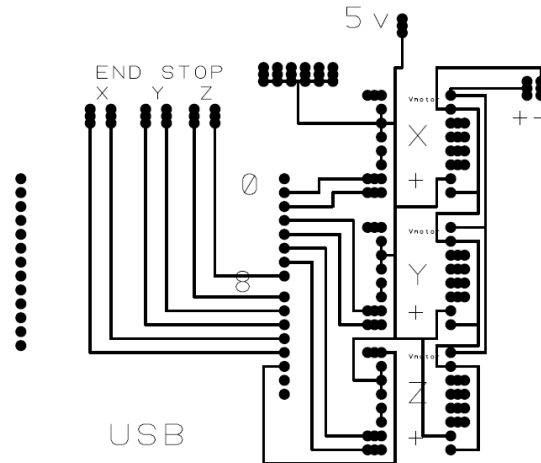


Figura 54 Circuito

Una vez realizado el circuito en el ordenador se imprimió en una lámina de acetato para posteriormente insolar una placa foto-sensibilizada, figura 55, con el patrón dispuesto entre la fuente de luz y la cara insolada de la misma.

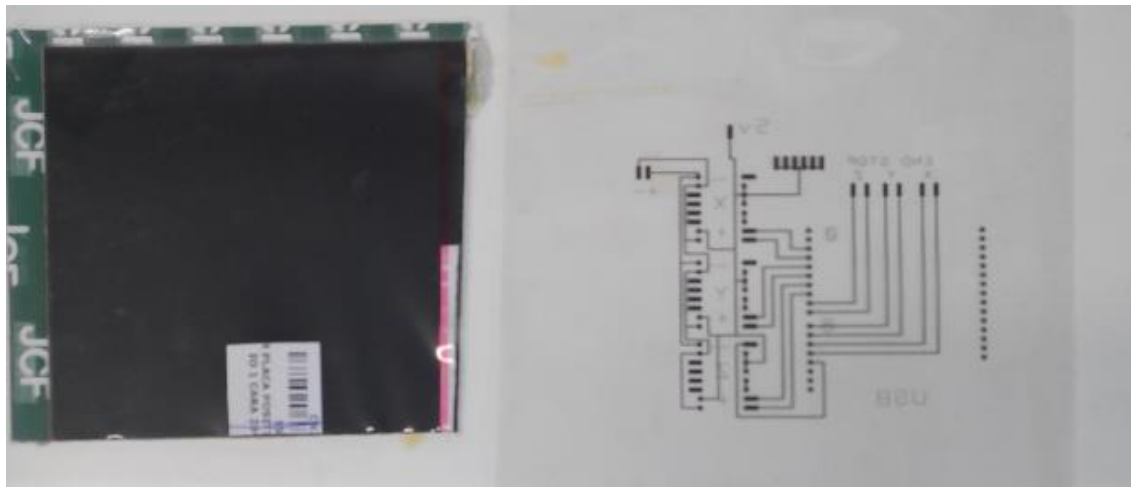


Figura 55 Placa foto sensibilizada y circuito impreso

Insolación de la placa: Se procede a la insolación de la placa con rayos UV, se le pone un peso encima para evitar movimientos de la placa durante la insolación, con 2 tubos UV y a una distancia de 20 cm aproximadamente el tiempo necesario de insolación fue de 18 minutos.

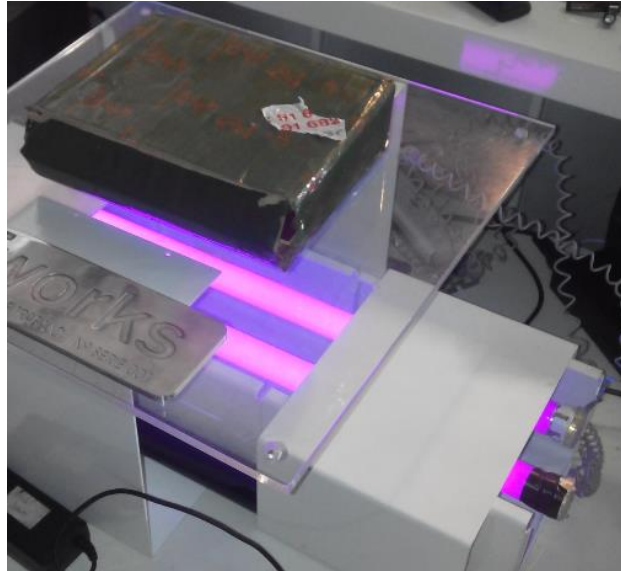


Figura 56 Insolación

Revelado: Finalizada la insolación es necesario revelar la placa en una disolución básica, en este caso la disolución se realizó diluyendo 8 gramos de sosa en un litro de agua, con este proceso retiramos de la placa la parte foto sensible que ha sido alcanzada por la luz UV, quedándonos el circuito que no se había expuesto a la luz.



Figura 57 Revelado

Una vez revelada la placa y limpia se procede a su inmersión en una disolución de agua fuerte y agua oxigenada de 110 volúmenes que atacará al cobre que no está cubierto por la tinta fotosensible que quedó en el paso anterior

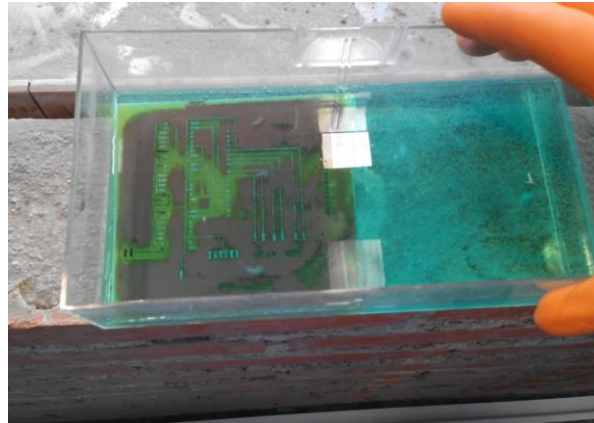


Figura 58 Quemado de placa

Perforado: Pasada la acción anterior ya dispondremos de una placa con el circuito impreso en cobre, el paso final es el perforado de la misma para poder realizar posteriormente el montaje de los componentes electrónicos, se ha empleado una broca de 1 mm en un taladro de columna para facilitar el perforado.

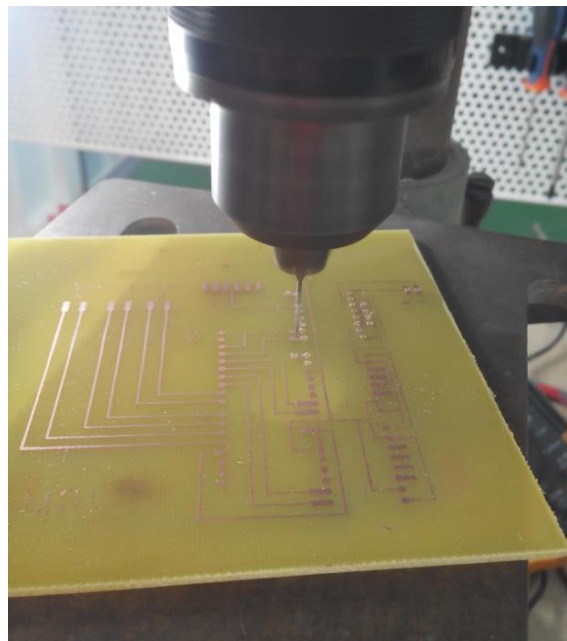


Figura 59 Perforado

Una vez montados los componentes, podemos observar el aspecto que presenta en la máquina en la figura 60:

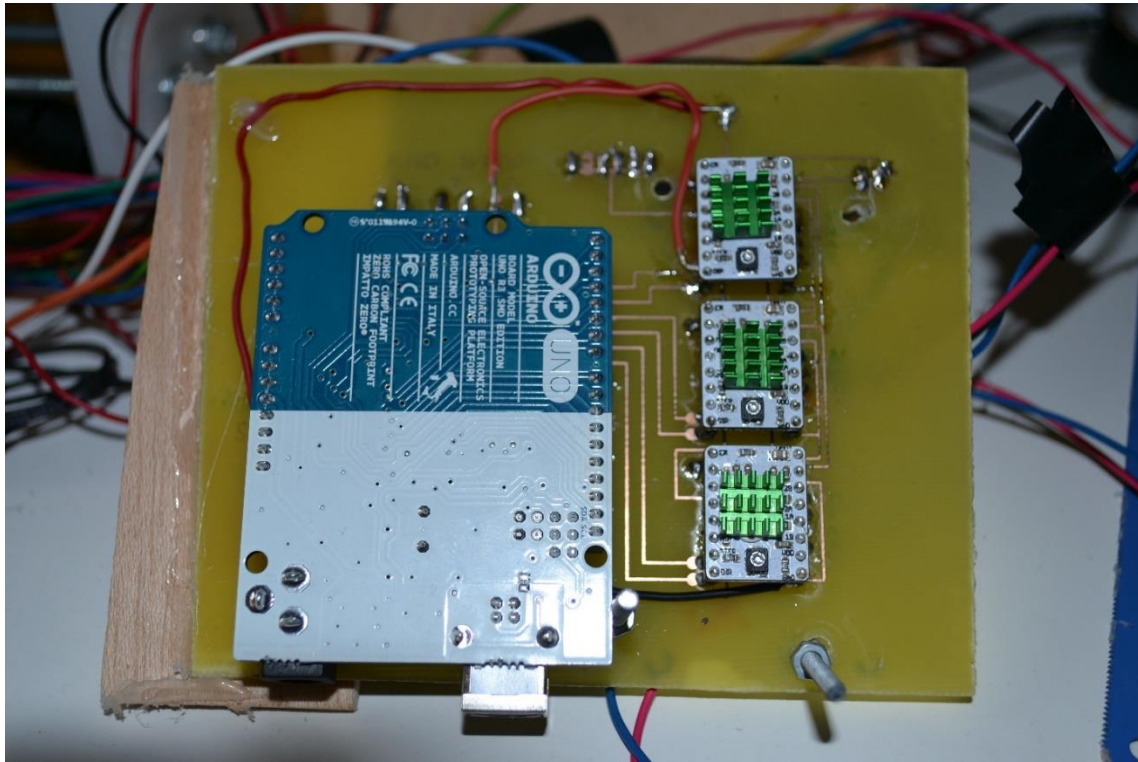


Figura 60 Circuito final

Tanto en los ejes X e Y como en la parte inferior del eje Z se han colocado unos interruptores fin de carrera que impiden que la máquina intente realizar sobre-recorridos que podrían dañar las piezas impresas o los motores. Estos dispositivos van conectados a un pin de arduino que actúa como entrada, leyendo 0 voltios cuando los interruptores están desactivados, cuando alguno de los ejes llega al final de su recorrido y activa alguno de los interruptores conmuta el pin de arduino al que está conectado a 5 voltios y automáticamente se detiene el avance de la máquina.

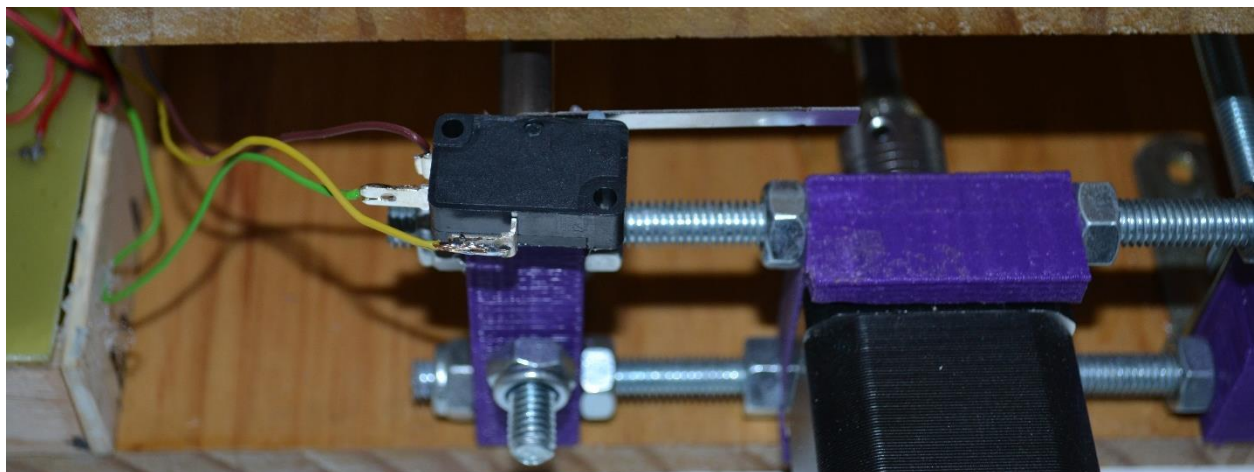


Figura 61 Interruptor fin de carrera

La combinación elegida de motores y controladores (pololu) pueden llegar a manejar 2A de intensidad por cada motor, aunque los controladores pololu llevan incorporados de serie unos disipadores se ha montado dos ventiladores sobre dichos disipadores para asegurar que los componentes no trabajen a una temperatura que pueda dañarlos.



Figura 62 Circuito con ventilación

Como fuente de alimentación para la máquina se ha escogido una fuente estándar de ordenador, debido a su coste más reducido aunque sus especificaciones sean mejores que las requeridas para esta aplicación. Se ha fijado la fuente con dos tornillos a la placa soporte de la máquina para facilitar su transporte.

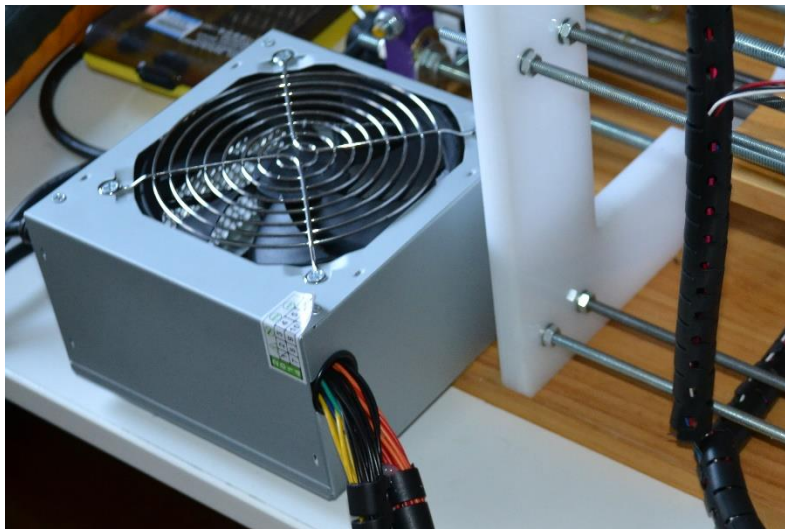


Figura 63 Fuente de alimentación

4. Resultados

Se ha logrado construir un prototipo de fresadora-cnc desde cero.

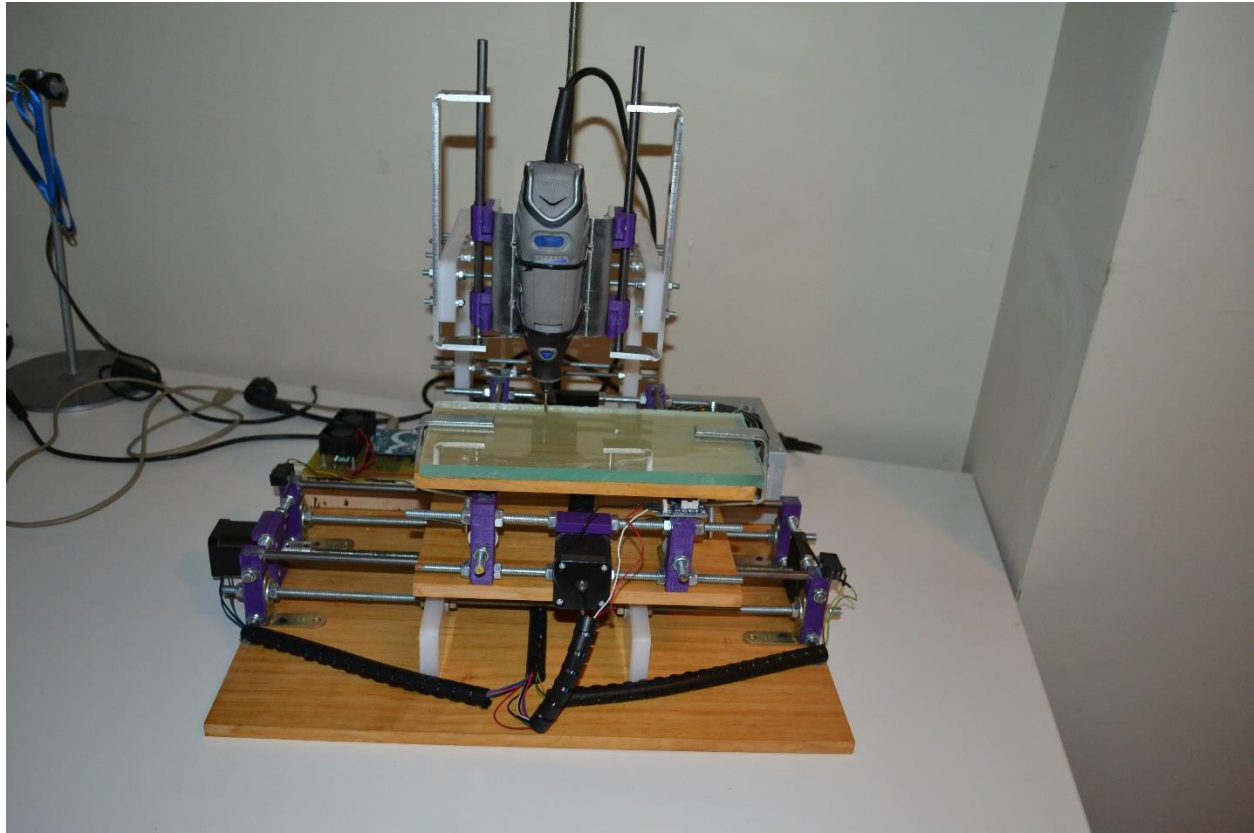


Figura 64 Aspecto final de la fresadora-cnc

Presupuesto: Se realizan dos presupuestos, uno con el coste de los materiales necesarios para construir el prototipo y otro estimando los recursos empleados para realizar el proyecto.

Presupuesto de material:

Precio de la parte mecánica 217.39€

Precio de la parte electrónica 80.35€

Total: 297.74 €

Presupuesto general:

Para el cálculo de este presupuesto se estima un coste de 25 €/h para la fase de diseño y realización de la memoria del proyecto, 12 €/h para la logística, 10 €/h para la fase montaje y finalmente 15 €/h para la puesta a punto.

Tabla 6 Presupuesto

Fase	Días empleados	Horas por día	Horas totales	Precio horario (€/h)	Total (€)
Diseño	90+5+45+19	4	636	25	15900
Logística	3+2	4	20	12	240
Montaje	10	4	40	10	400
Puesta a punto	10+10+10	4	120	15	1800

Total 18340 €

Como podemos observar en la tabla 6, el presupuesto total para realizar el proyecto asciende a 18637.74 €

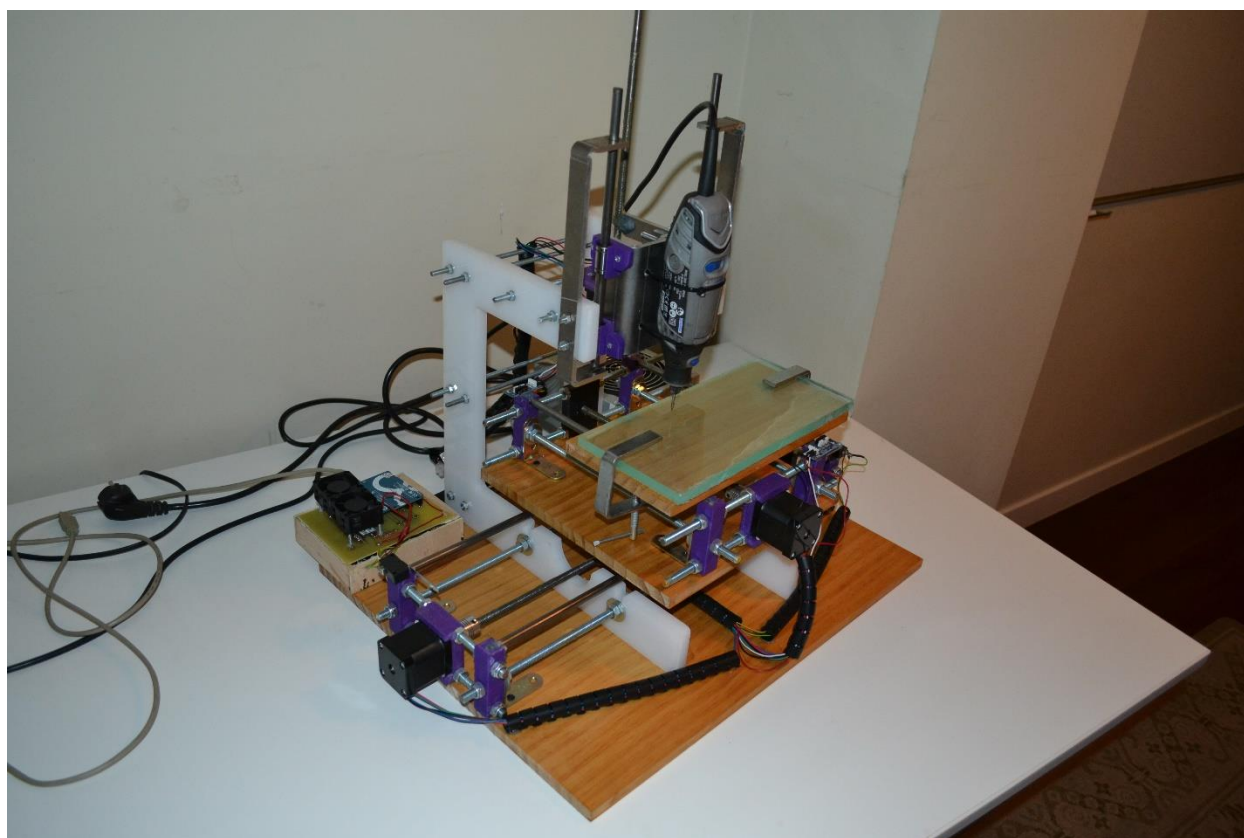


Figura 65 Vista lateral fresadora-cnc

5. Conclusiones y futuros desarrollos

Con la realización de este proyecto se demuestra que es posible, aplicando conocimientos de mecánica y electrónica, construir una fresadora, que trabaja en tres dimensiones, controlada por ordenador en casa que permite la realización de modelos que se han creado previamente en el ordenador utilizando programas de diseño.

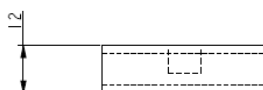
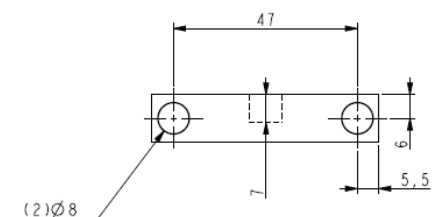
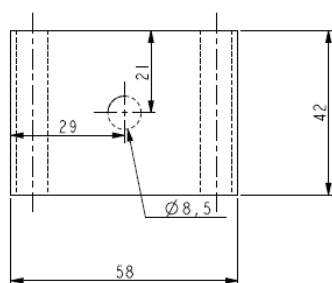
La inversión a realizar es baja gracias a los actuales precios de los componentes electrónicos y a la existencia de software libre que permite controlar la máquina.

Una posible vía para ampliar el proyecto es la creación de una máquina capaz de leer formas en dos o tres dimensiones unida a un software capaz de convertir las lecturas en un programa para introducir a la fresadora y que ésta replique, a la misma o distinta escala la forma leída.

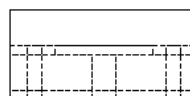
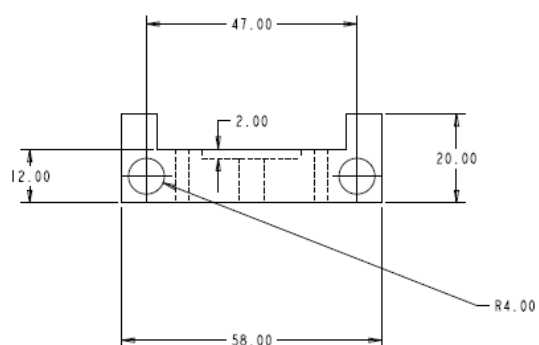
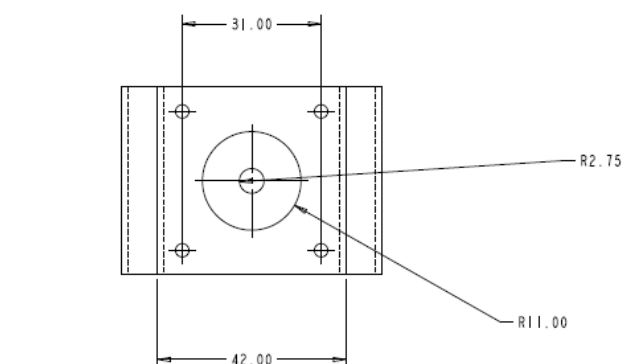
Este prototipo es capaz de realizar piezas de 10x26x10, pero se podrían realizar prototipos de mayor tamaño dimensionando tanto la parte mecánica como la electrónica para realizar otros prototipos capaces de realizar piezas de mayor tamaño.

Bibliografía

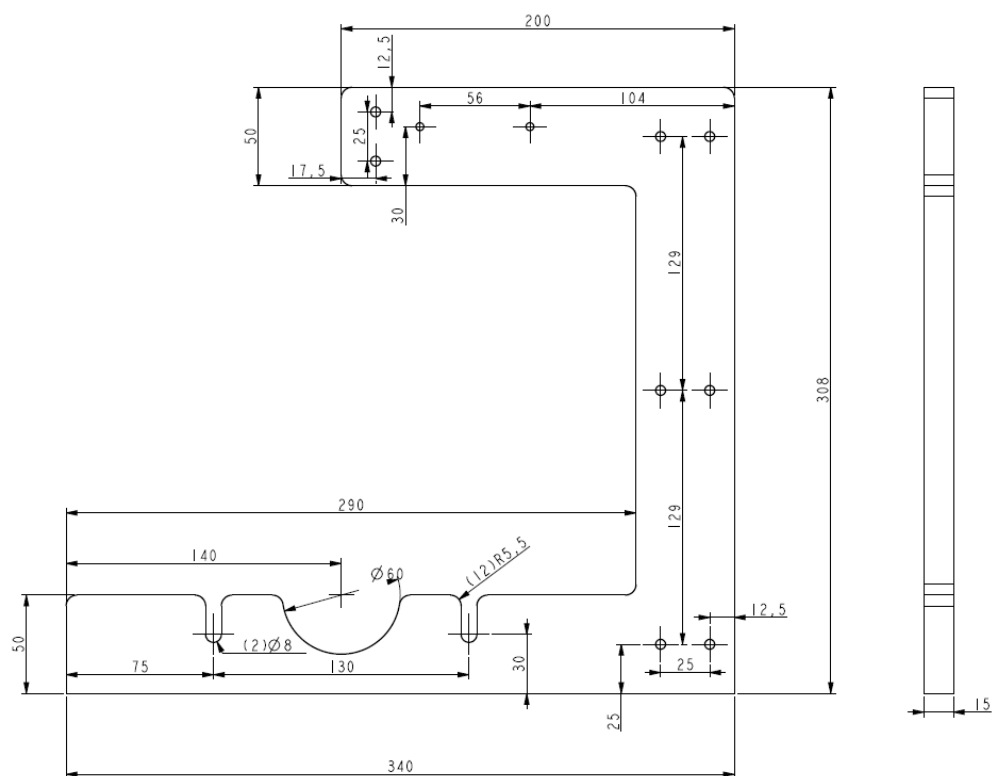
- [1] SHURKIN, J. Broken Genius (2006). *The Rise and Fall of William Shockley, Creator of Electronic Age*. New York: Joel Shurkin.
- [2] BALIAGA, B. (2010). *Advanced Power MOSFET Concepts*. New York: Springer.
- [3] MOORE, G. (1965). “Cramming More Components onto Integrated Circuits” en *Electronics*, pp. 114-117, April 19.
- [4] CERUZZI, P. (1998). *A History of Modern Computing*. Salisbury: Techset Composition Ltd.
- [5] PUGH, E. (1995). *Building IBM: Shaping an Industry and its Technology*. Massachusetts Institute of Technology.
- [6] LINZMAYER, O. (2004). *Apple Confidential 2.0: The Definitive History of the World's Most Colorful Company*. San Francisco: No Starch Press.
- [7] QUERO, E. (2003). *Sistemas operativos y lenguajes de programación*. Madrid: International Thomson Ediciones Spain Paraninfo, S.A.
- [8] RAJARAMAN, V. (1999). *SuperComputers*. Hyderabad: Universities Press (India) Limited.
- [9] PARDO, D. (2011). *Electrónica: del pasado al presente*. Universidad de Salamanca: Salamanca.
- [10] <http://www.wsj.com/articles/SB10001424052748703499404574559960271468066>
- [11] BARRETT, S. (2013). “*Arduino Microcontroller Processing for Everyone*”. Morgan & Claypool.
- [12] <http://www.arduino.cc/en/Hacking/HomePage>
- [13] ADITHAN, B. (1994). *CNC Machines*. New Delhi: New Age International.
- [14] CANTERO, J.L. (2005) “problemas resueltos de tecnología de fabricación”. Paraninfo
- [15] Esquema conexiones con arduino <http://forum.arduino.cc/index.php?topic=254422.0>
- [16] Página oficial RS-Componentes <http://www.rs-online.com/designspark/electronics/>



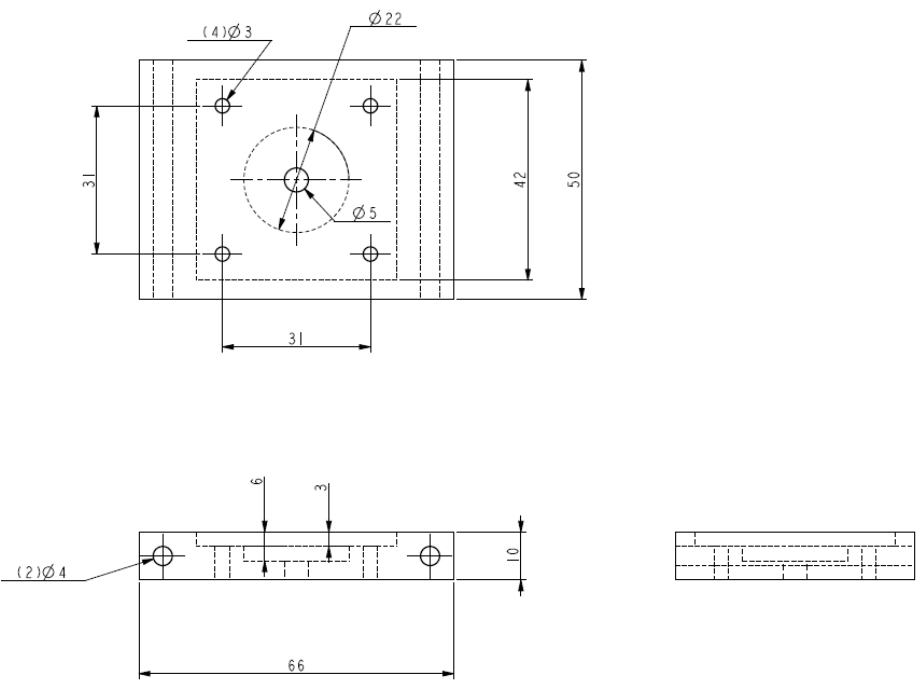
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
apoyo_barilla	César Hurtado	mm	22/06/2015



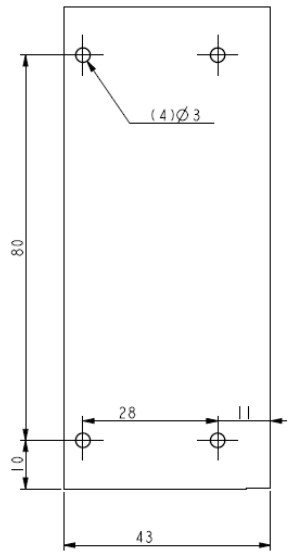
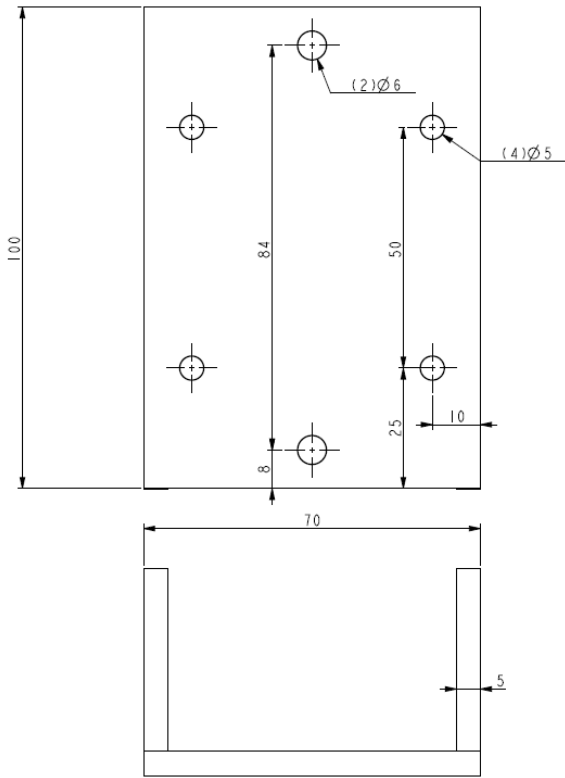
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
Motor x	César Hurtado	mm	22/06/2015



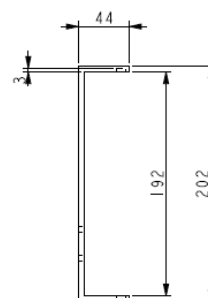
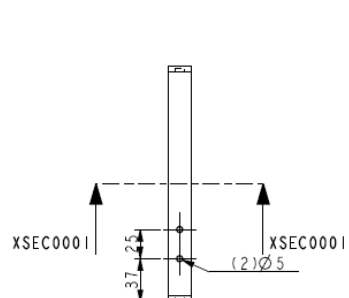
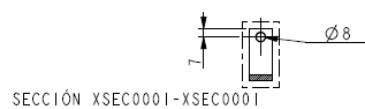
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
Portico_cnc	César Hurtado	mm	22/06/2015



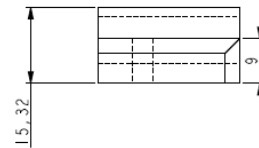
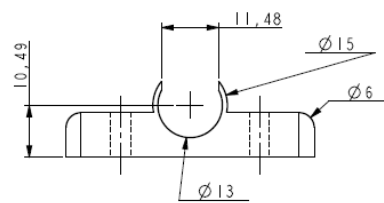
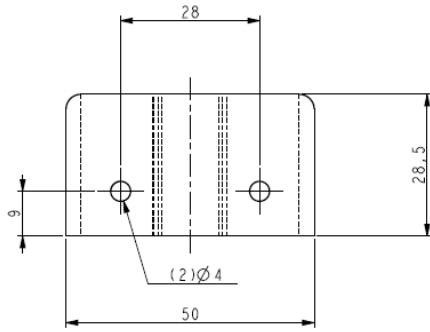
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
sop_mot_z	César Hurtado	mm	22/06/2015



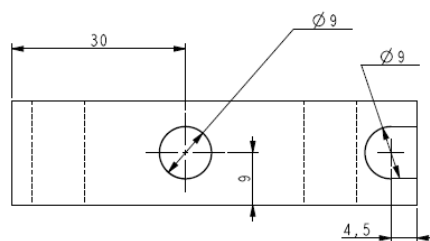
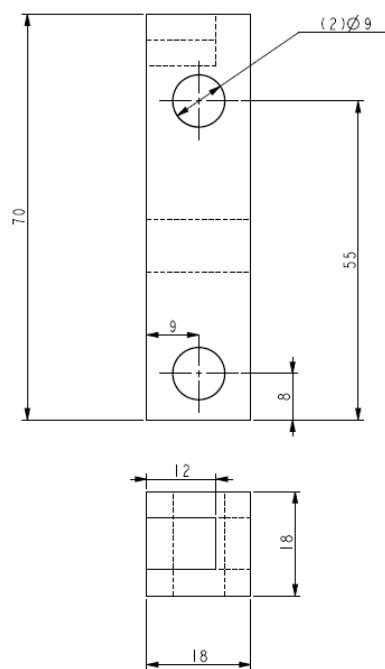
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
soporte_dremel	César Hurtado	mm	22/06/2015



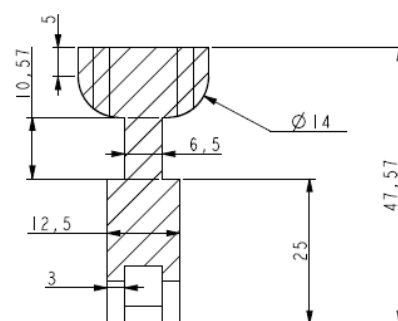
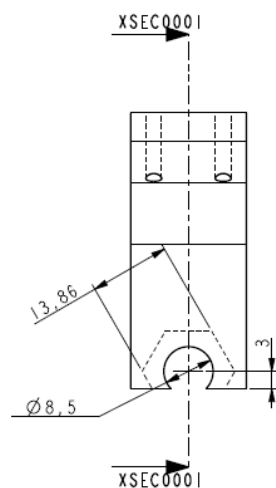
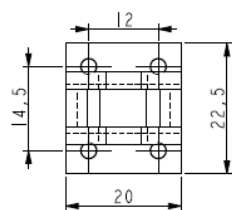
Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
soporte_u_ejez	César Hurtado	mm	22/06/2015



Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
soporte rodamiento	César Hurtado	mm	22/06/2015

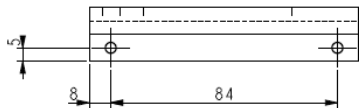
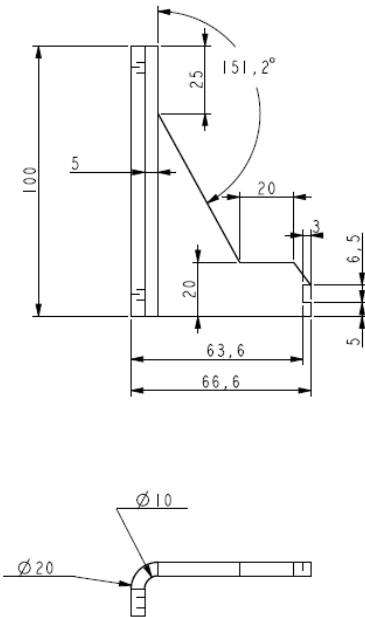


Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
soportes	César Hurtado	mm	22/06/2015



SECCIÓN XSEC0001-XSEC0001

Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
transmision	César Hurtado	mm	22/06/2015



Pieza	Dibujado por:	Unidades	Fecha
transmision_z	César Hurtado	mm	22/06/2015